(التقرير النـهائي)

دراسة علاقة تغير الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على "منى" مع غاز الأوزون السطحي

معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج بجامعة أم القرى

موسم شهر الحج المبارك لعام ١٤٢٤ هـ

الباحث الرئيس

د. عبدالعزيز بن رشاد سروجي

الباحث المشارك

م. هـاشم بن محمود الحاج

١٤٢٥/٤/٤هـ

قسم البحوث البيئية والصحية

معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج

جامعة أم القرى

شكر وتقدير

بادئ ذي بدء لابد من التوجه إلى المولى عز وجل على مايسره لنا من إقامة هذا البحث وتنفيذه فلولا فضله وتوفيقه ما خرج هذا البحث على الهيئة التي هي عليه الآن فله سبحانه وتعالى الحمد في الأولى والآخرة على توفيقه لنا وتيسيره.

نعم لقد حظيت هذه الدراسة بدعم من بعض الجهات الأكاديمية الرسمية والتي كان لها دورا فاعلا في إنجاز هذه الدراسة وإخراجها على الصورة التي هي عليها الآن، ومن باب العرفان بالجميل والشكر لأصحاب هذا الدعم الأصيل لابد من أن تسطر هاهنا هذه الكلمات لتذكر لأهل الفضل فضلهم، ولتحمد لأهل الإحسان إحسانهم، وهم على النحو التالي:

سعادة عميد معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج الدكتور/ أسامة بن فضل البار والذي لم يألوا جهدا في الدعم المادي لهذه الدراسة وكذلك الدعم المعنوي الذي كان له الأثر الفعَّال في تنفيذ هذا البحث والرقي به إلى هذا المستوى.

والشكر موصولٌ كذلك إلى سعادة رئيس قسم البحوث البيئية والصحية الدكتور/ أحمد بن يوسف برقاوي على تذليل جميع الصعاب التي واجهة هذه الدراسة والدعم بالطلاب الذين شاركوا في إنجاح هذه الدراسة وإخراجها على أحسن وجه.

كما لا أنسى أن أشكر سعادة الأستاذ الدكتور/ محمود بن محمد نصر الله أستاذ دراسات التلوث البيئي وفريق البحث الذي معه على تزويده الباحثين في هذه الدراسة ببعض القياسات الخاصة بتركيز بعض الملوثات الغازية في منطقة جسر الجمرات والتي هي جزء من بحثه الميداني كما أنها ذات صلة قوية وهامة جدا لإتمام هذا البحث الذي بين أيدينا.

وإن أنسى فلا أنسى أولئك الجنود الذين عملوا في الخفاء ومن خلف الكواليس من الإداريين والمساعدين والإعلاميين وجميع العاملين في هذا الصرح الشامخ صرح معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج على كل مابذلوه من جهد في سبيل الرقي بمستوى هذا المعهد الأصيل.

ملخص البحث

في هذا البحث تمت مناقشة علاقة تغير الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على "منى" مع تغير زاوية السمت الشمسية وكيف أن كمية الإشعاع فوق البنفسجي الساقط تزداد بانخفاض زاوية السمت الشمسية كما تمت دراسة أثر تغير أحوال الطقس على كمية الأشعة فوق البنفسجية حيث ومن ذلك أن السحب أدت إلى خفض كمية هذه الأشعة الساقطة على "منى" حيث انخفضت إلى حوالي ٣٣ واط/م٢ بعدما وصلت إلى ٣٩ واط/م٢ في الأيام التي كانت سماؤها صافية، كما قمنا بدراسة أثر الإشعاع فوق البنفسجي على تراكيز بعض الغازات المنبعثة من وسائل النقل والناتجة عن التفاعلات الضوء كيميائية وعلى الأخص غاز الأوزون السطحي ووجدنا أن هناك توافق كبير في السلوك $(R^2 = 0.8)$ بين زيادة تركيز غاز الأوزون، O_3، والأشعة فوق البنفسجية الساقطة، في حين انخفضت هذه القيمة إلى حوالي (0.5) في حالة غاز ثاني أكسيد النيتروجين، NO_2، مما يعني أن هناك ٥٠% من إنخفاض تركيز غاز NO_2 كان مصحوبا بزيادة كمية الأشعة فوق البنفسجية الساقطة وهذا يؤكد العلاقة العكسية بين أشعة الشمس فوق البنفسجية وتركيز غاز NO_2 خاصة عند منتصف النهار، أما في حالة أول أكسيد النيتروجين، NO، فقد كان هناك اعتمادا ضعيفا جدا على هذه الأشعة وقد لا يذكر حيث كان معامل التوافق بين كمية تركيز غاز NO والأشعة فوق البنفسجية يساوي 0.07 وهي قيمة صغيرة جدا وبالتالي فإن من المتوقع أن معظم مصادر غاز NO هو غير الإشعاع الشمسي مثل احتراق الوقود الناجم من عوادم عربات النقل الموجودة في "منى" وغيرها. كما تمَ دراسة أثر بعض العوامل الجوية مثل سرعة واتجاه الرياح على تركيز بعض الملوثات مثل أكاسيد النيتروجين والأوزون ومن ثمّ ختمت الدراسة بذكر أهم التوصيات.

المحتويات

الفصل الأول

١ المقدمة

١ – ١ بين يدي الدراسة

إن مما يميز كوكبنا الجميل (الأرض) هو هذه الحياة التي أودعها الله عزوجل فيها وميزها بها عن سائر الكواكب وهذه الحياة تشمل جميع الكائنات الحية التي خلقها المولى سبحانه وتعالى والتي تحتاج إلى عدة مقومات منها الطاقة الكافية لتعيش بهناء ورخاء على هذه البسيطة، ومن أهم مصادر الطاقة على الأرض هي الطاقة الشمسية والتي تصلنا من الشمس على شكل إشعاع شمسي يحمل في ثناياه الضوء والحرارة مسببا ما يعرف بالأشعة الفضائية (Extraterrestrial radiation) نظرا لقدومها من خارج الأرض. وهذه الأشعة الشمسية لها تأثير كبير جدا على مكونات الغلاف الجوي وهي تلعب دورا هاما في مجال العمليات الفيزيائية والكيميائية والحيوية لكل الكائنات الحية على الأرض ومثال ذلك عملية التمثيل الضوئي للنبات والتي من خلالها يأخذ النبات ثاني أكسيد الكربون ويمدنا بالأكسجين اللازم للحياة على الأرض إضافة إلى الطاقة التي يمدنا بها النبات من خلال المحاصيل الزراعية والثمار والحبوب وغيرها مما لا غنى للإنسان عنها لكي يحي سليما سعيدا نشطا على هذا الكوكب الجميل. وهذه الأشعة هي عبارة عن إنبعاثات طيفية تعرف باسم **الطيف الكهرومغناطيسي** وهذه الإنبعاثات الطيفية ليست كلها لها نفس الأثر الإيجابي حيث أن هذا الطيف بدوره يمكن تقسيمه إلى بضع حزم موجية ذات مدى مختلف من الأطوال الموجية وكل منها له اثره الكامن المميز والفاعل على البيئة ومن أمثلة ذلك موجات الراديو والأشعة المؤينة والأشعة تحت الحمراء والطيف المرئي والأشعة فوق البنفسجية.

وفي هذه الدراسة سوف ركز الباحثون على **الأشعة فوق البنفسجية (UV)** الساقطة على منطقة "منى" ومدى تأثرها بإختلاف أحوال الطقس وأثر هذه الأشعة على تراكيز بعض الملوثات المنبعثة من وسائل النقل المختلفة مثل غاز ثاني أكسيد النيتروجين، NO_2، وأول أكسيد النيتروجين NO أو الناتجة عن التفاعلات الضوء كيميائية مثل غاز الأوزون O_3. وهذا أول بحث، حسب علم الباحثين في هذه الدراسة، يقوم بقياس تغير الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على "منى" في المدى الموجي (295 to 385 nm) خلال موسم الحج لعام ١٤٢٤هـ وأثرها على الغازات السطحية، ولذلك لاتوجد دراسات سابقة في نفس موقع الدراسة يمكن الإستشهاد بها في هذا المقام.

١ – ٢ أهمية الدراسة

تزداد نسبة الغازات المنبعثة من عوادم السيارات وحافلات النقل الكبيرة خلال كل موسم حج في مكة المكرمة والمشاعر المقدسة وخاصة في "منى" حيث أنها تقع في وادي تحيط به الجبال شمالا وجنوبا وهي ذات مساحة محدودة (٧,٧٦ كيلومتر مربع تقريبا) مقارنة بغيرها من المشاعر حيث تبلغ مساحة كل من

عرفات ومزدلفة حوالي ١٢,٥ كيلومتر مربع. وهذه الغازات بطبيعة الحال تؤثر سلبا على البيئة الصحية للحجاج أثناء أداء مناسكهم ويزداد الحال سوءاً أثناء فترة النهار عندما تكون الشمس ساطعة فتزداد كمية الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على مشعر "منى" مسببة ما يعرف بالتفاعل الضوءكيميائي والذي يتم بين هذه الأشعة والغازات المنبعثة من وسائل النقل، والذي عن طريقه يتم إنتاج غازات أخرى ثانوية قد تكون أشد من غازاتها الأولية، مثل غاز الأوزون (O_3) والذي يعتمد بشكل جذري على كمية الأشعة فوق البنفسجية الساقطة ونسبة تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين. وغاز الأوزون هو أحد الغازات الضارة على البيئة والإنسان نظرا لمسئوليته عن الإصابات بالإلتهابات الرئوية وأضرار أخرى علي الجهاز التنفسي وقد يؤدي التعرض لتركيزات عالية منه إلى إحداث حالات وفاة لا سمح الله.

١ ــ ٣ أهداف الدراسة

١- معرفة مقدار الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على "منى" خلال موسم حج ١٤٢٤هـ.

٢- دراسة أولية للعلاقة بين O_3 و NO_x والأشعة فوق البنفسجية.

٣- معرفة تغير مقدار الأشعة فوق البنفسجية بتغير أحوال الطقس مثل سماء صافيه أوسحاب جزئي أوسحاب كلي (غيوم) والتي بدورها تؤثر على مقدار كمية الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على الأرض.

١ ــ ٤ خطة البحث

لقد تم تقسيم هذا البحث إلى خمسة فصول أساسية إضافة إلى هذا الفصل، بحيث أن كل فصل من هذه الفصول ناقش جزئية معينة من هذا البحث. وهذه الفصول مقسمة في داخلها إلى بضعة عناوين وفروع بحسب ما تقتضيه الحاجة وذلك حتى يسهل فهمه وإستيعابه بشكل جيد والله تعالى من وراء القصد، والموضوعات التي تطرقت لها هذه الفصول الخمسة الرئيسة على النحو التالي:

✓ ***الفصل الثاني: لمحة عن الدراسات العلمية ذات الصلة***

عرض سريع عن بعض الدراسات العلمية ذات الصلة بالموضوع والتي تم إنجازها عن طريق بعض الباحثين والتي ناقشوا من خلالها ثلة من القضايا المتعلقة بالأشعة فوق البنفسجية من حيث نفاذيتها خلال الغلاف الجوي وذكر العوامل المؤثرة على شدتها وبعض أضرارها على النظام الحيوي، كما عرج هذا الفصل على ذكر بعض البحوث المتعلقة بدراسة تغير الأوزون السطحي في طبقة التربوسفير نتيجةً تغير الإشعاع فوق البنفسجي وكذلك الآثار السلبية التي يخلفها إرتفاع تركيز غاز الأوزون السطحي على البيئة والإنسان.

✓ ***الفصل الثالث: الأجهزة العلمية المستخدمة***

وفيه تم عرض لمحة سريعة عن الأجهزة والأدوات العلمية التي إستخدمها الباحثون في الدراسة مثل جهاز قياس مجموع الإشعاع فوق البنفسجي (TUVR) والمدى الموجي الذي يقيسه هذا الجهاز وطرق معايرته

والمميزات والخصائص التي يمتاز بها هذا الجهاز وكذلك الأجهزة التي تم إستخدامها لتحميل البيانات، كما ذكر البحث نبذة موجزة عن أجهزة قياس الملوثات الصادرة من عوادم السيارات مثل غاز الأوزون (O_3) وغاز أول أكسيد النيتروجين (NO) وغاز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) وغازات أكاسيد النيتروجين ($NO_x = NO_2 + NO$).

- ✓ ***الفصل الرابع: النظريات العلمية المستخدمة***

هذا الفصل ذكر نبذة موجزة عن بعض النظريات العلمية التي قامت عليها هذه الدراسة مثل كيفية إنبعاث الأوزون السطحي من خلال التفاعلات الضوء كيميائية التي تتم مع غاز ثاني أكسيد النيتروجين وإرتباط هذه التفاعلات بغاز أول أكسيد النيتروجين.

- ✓ ***الفصل الخامس: النتائج والمناقشة***

وهذا الفصل هو لب البحث وجوهره حيث أنه عرض جميع النتائج والقياسات التي تمت أثناء الدراسة وتحليلاتها ومن ثمَّ معالجاتها العلمية والتي من خلالها يستطيع الباحث من التحقق من النظريات المطروحة في البحث وذلك من حيث معرفة التغير الحاصل لمقدار الأشعة فوق البنفسجية خلال فترة موسم حج ١٤٢٤هـ ومدى تأثر كميتها بتغير أحوال الطقس إضافة إلى التحقق من مدى الإرتباط بين تغير مقدار الأشعة فوق البنفسجية الساقطة ونسبة الملوثات التي تم عمليا قياسها في الدراسة وعرض الأشكال البيانية الخاصة بذلك وكذلك قياسات تراكيز بعض الملوثات في الهواء ومن ثمَّ عمل بعض التحليلات والحسابات الإحصائية المناسبة.

- ✓ ***الفصل السادس: الخاتمة والتوصيات***

وهذا الفصل هو مسك الختام والذي يتم من خلاله عرض خلاصة هذا البحث وتلخيص أهم النتائج التي توصل إليها الباحثون من الدراسة وكذلك بعض الرؤى المستقبلية للدراسة من وجهة نظر الباحث والتوصيات الهامة التي نبعت عن هذه الدراسة والجهات المسؤولة عن تنفيذ هذه التوصيات.

الفصل الثانــي

٢ لمحة عن الدراسات العلمية ذات الصلة

٢ ــ ١ الأشعة فوق البنفسجية (UV)

الأشعة فوق البنفسجية هي أحد أجزاء طيف الأشعة الشمسية التي تصلنا على سطح الأرض بعد مرورها بالغلاف الجوي حيث يتم هنالك إمتصاص أجزاء كبيرة منها عن طريق جزيئات غاز الأكسجين (O_2) الموجود في طبقات العليا من الغلاف الجوي وكذلك بواسطة غاز الأوزون الموجود في طبقة الإستراتوسفير أو مايعرف بـ (stratospheric ozone) ، و تقع الأشعة فوق البنفسجية في مدى الأطوال (λ) الموجية القصيرة ($200 \leq \lambda \leq 400$ nm) وهي تلي مباشرة نهاية الأشعة البنفسجية الموجودة في أدنى الطيف المرئي والذي يقع في المدى الموجي، $400 \leq \lambda \leq 800$ nm، و يمكن تقسيم مدى الأشعة فوق البنفسجية إلى ثلاث حزم موجية صغيرة مصنفة على النحو التالي: منطقة دُنيا UVC (200 to 280 nm) ومنطقة وسطى UVB (280 to 315 nm) وأخيرًا منطقة عُليا UVA (315 to 400 nm). والأشعة UVC هي أشعة خطيرة جدًا حيث تتسبب هذه الأشعة وكذلك UVB في الإصابة بما يعرف بالدبغ الجلدي (tanning) والذي يؤدي إلى إسمرار الجلد بالتعرض للشمس كما تسبب إلتهاب بشرة الجلد (erythema) وكذلك سرطان الجلد (skin cancer) ، لذا فإنه في حالة وصول جرعة كبيرة من هذه الأشعة إلى طبقة الأرض فإنها قد تتسبب في إحداث أضرارا كبيرة على النظام البيئي والحيوي.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن هذه الأشعة الشمسية فوق البنفسجية ليست كلها في عمومها ضارة على البيئة أو الانسان، بل إن لها فوائد كبيرة بل وضرورية لجسم الانسان إذا تم التعرض لجرعة محدودة منها دونما إفراط أو تفريط، فإذا كانت هذه الجرعة لا تتجاوز الحدود الآمنة المسموح بها من قبل منظمة الصحة العالمية [WHO, 1998] فإنه يمكن إستخدامها في بعض أنواع العلاجات ومن أمثلة ذلك إستخدامها في علاج مرض الصفاري الذي يصيب الأطفال حديثي الولادة وكذلك زيادة نسبة فيتامينD المفيد في بناء العظام كما أن هذه الأشعة تحمي من كساح الأطفال أو هشاشة العظام وغيرها من الأمراض التي يسببها نقص فيتامين "د" [NRPB, 2002].

إن الأشعة فوق البنفسجية التي تصل الى الأرض يعترضها عدة عوامل من التغيرات أثناء نفاذيتها خلال الغلاف الجوي والتي قد تؤدي إلى توهين هذه الأشعة وهذا التوهين سببه حالات الإمتصاص والإستطارة التي تحدثها مكونات الغلاف الجوي من الغازات والجسيمات الدقيقة والغبار، وتجدر الإشارة هنا إلى أن هذا التوهين الحاصل للأشعة يكون معتمدا وبشكل رئيس على المدى الموجي الذي تقع فيه هذه الأشعة فعلى سبيل المثال نجد أن الأشعة فوق البنفسجية ذات المدى الموجي 400 nm تكون نفاذيتها عادة أكبر بعشر أضعاف من الأشعة ذات المدى الموجي القريب من 300 nm [Webb *et al.*, 1996]. والسبب في ذلك هو أن التوهين والإمتصاص الذي يحدث في المدى 300 nm يكون أعلى بكثير منه في المدى الموجي

الأعلى نتيجة الحساسية الكبيرة الموجودة في مكونات الغلاف الجوي للأطوال الموجية القصيرة. ولذلك فإن نفاذية الأشعة فوق بنفسجية في المنطقة الوسطى (UVB) خلال طبقة الإستراتوسفير تكون محكومة بشكل رئيس بمقدار غاز الأوزون الكلي في تلك المنطقة.

وأما عن التوهين الذي يحدث في الطبقة القريبة من الأرض (طبقة التروبوسفير) فيكون نتيجة للإستطارات الحاصلة بواسطة جزيئات الهواء وذراته وهو ما يعرف بإستطارة ريليه (Rayleigh scattering) أو عن طريق الإستطارة التي تحدث في السحب بواسطة دقائق الثلج والماء الموجودة في السحب وهو ما يعرف علميا باسم إستطارة مِي (Mie scattering). ولذلك فإن كمية الإشعاع فوق البنفسجي الساقط تعتمد على حالة الطقس مثل كمية وكثافة السحب الموجودة في السماء وكذلك كمية ونوعية الغازات والأتربة والجسيمات الدقيقة العالقة في الهواء والتي يمكن التعبير عنها بقانون **لام برت** (**Lambert's law**) وهو قانون يوضح مقدار الطاقة الجزئية الممتصة عبر الوسط الذي تنتقل فيه الأشعه (الغلاف الجوي) والذي يتناسب أُسيا مع مقدار المسار الذي تقطعه الأشعة في الوسط (d_s) وكذلك مع كثافة الوسط (ρ) كما تتناسب مع المقطع العرضي الإمتصاصي للغازات والجزيئات أو ما يعرف باسم (absorption cross-section, σ) الموجودة في الهواء والتي يمكن التعبير عنها بالعلاقة الرياضية التالية:

$$I_\lambda(s) = I_\lambda(0)\exp(-\rho\sigma d_s) \qquad ١$$

حيث، $I_\lambda(0)$ ، تمثل شدة الإشعاع المبدئي الساقط في حين أن، $I_\lambda(s)$ ، تمثل الشدة المتبقية بعد عبور الإشعاع في الوسط ووحدة شدة الإشعاع هي واط لكل متر مربع، واط/م٢، (W/m^2) ، كما أن هناك عوامل أخرى تؤثر على نفاذية الأشعة فوق بنفسجية مثل طبقة الأوزون الموجودة في منطقة الإستراتوسفير.

تكون الطاقة الكلية للأشعة فوق البنفسجية في المنطقة الوسطى، UVB، صغيرة جدا إلا أن الفوتونات الفردية فيها تمتلك طاقة عاليه جدا تمكنها من الوصول إلى طبقة التروبوسفير مسببة عددا من التفاعلات الكيميائية والحيوية ومثال ذلك الظاهرة الكونية المشهورة عالميا والتي تعرف بظاهرة ثقب الأوزون (**Ozone hole**) الذي حدث في طبقة الإستراتوسفير والواقع فوق قارة آنتاركتيكا في منطقة القطب الجنوبي والذي أُكتشف في عام ١٩٨٥م [Farman *et al.*, 1985] حيث تسبب هذا الثقب في إلحاق أضرارٍ كبيرة جدا بالنظام البيئي والحيوي في تلك المنطقة، والسبب في ذلك أن هذه الطبقة من الأوزون جعلها الله عزوجل درعا واقيا يحمي الأرض من ضرر الأشعة فوق البنفسجية الخطرة وذات الأطوال الموجية القصيرة، فهذه الطبقة تحد من كمية الطاقة الإشعاعية فوق البنفسجية الساقطة على الأرض، إلا أنها ليست الوحيدة حيث توجد هناك عوامل أخرى تؤثر على نفاذية هذه الأشعة مثل كمية الأشعة المنبعثة من الشمس، والمسافة الفاصلة بين الشمس والأرض، وزاوية السمت الشمسية (**Solar Zenith Angle, SZA**) والسحب، والجسيمات الدقيقة العالقة في الهواء و انعكاسات سطح الأرض (**Ground albedo**) [Bordewijk *et al.*, 1995; Madronich, 1993; Schafer *et al.*, 1996] وكل واحد من هذه العوامل له أثره الخاص على نفاذية الأشعة فوق البنفسجية.

٢ ـ ٢ الأوزون السطحي (طبقة التروبوسفير)

كما أن الأوزون هو احد مكونات الغلاف الجوي الطبيعية والموجودة بشكل كبير جدا في طبقة الإستراتوسفير نتيجة الإنحلال الضوئي لجزيئات الأكسجين، إلا أنه موجود كذلك في طبقة التروبوسفير ولكن بكميات أقل بكثير عما هي عليه في طبقة الإستراتوسفير حيث يمثل تركيزه في طبقة التروبوسفير حوالي ١٠% من المجموع الكلي لعمود الأوزون في الغلاف الجوي، ومع ذلك فإن الأوزون السطحي يلعب دوراً هاماً في كثير من التفاعلات الضوء كيميائية الواقعة بين الغازات والملوثات في طبقة التروبوسفير. ومع أن تركيز غاز الأوزون الموجود في طبقة الإستراتوسفير قد إضمحل في المناطق القطبية وخاصة في القطب الجنوبي [Farman *et al*., 1985] إلا أن تركيزاته قد إرتفعت في منطقة التروبوسفير وخاصة في الإرتفاعات المتوسطة في الجزء الشمالي من الكرة الأرضية [Fowler *et al*., 1997]. ومن هنا يتضح لنا أن هناك مشكلتين مختلفتين وغير مترابطتين تماما لغاز الأوزون في الغلاف الجوي، فهو يعتبر كسلاح ذو حدين فنحن نخشى من إضمحلاله في طبقة الإستراتوسفير حيث يحمينا هناك من أضرار الأشعة فوق البنفسجية الضارة وفي نفس الوقت نسعى إلى تحجيمه وتقليل تركيزه قدر الإمكان في طبقة التروبوسفير حتى نسلم من أضراره المباشرة وغير المباشرة على الإنسان والبيئة.

يعتبر غاز الأوزون من المؤكسدات الهامة جدا والتي تلعب دورا كبيرا أثناء عمليات الإنحلال الضوئية الكيميائية وما يتبعها من تفاعلات بين منتجاتها الضوئية حيث أنه يساعد في إنتاج غاز جذر الهيدروكسيل، OH، وهو غاز ذو أكسدة فاعلة وقوية في طبقة التروبوسفير حيث أنه يتحكم بشكل كبير في نسب الغازات والملوثات الأخرى الموجودة في الهواء. وتتم عملية إنتاج غاز الأوزون في طبقة التروبوسفير عن طريق تفاعلات ضوء كيميائية تحدث بين أكاسيد النيتروجين (NO_x) وبعض المركبات العضوية المتطايرة في الهواء، (أنظر الفصل الرابع: النظريات العلمية المستخدمة) ويعتبر التفاعل الحاصل بين الأوزون وأول أكسيد النيتروجين ($NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$) هو من أهم العمليات التي تؤدي إلى إزالة الأوزون في طبقة الترابوسفير، ويتراوح عمر غاز الأوزون ما بين ٢ - ٥ أيام في المناطق المدارية والإستوائية وقد يصل عمره في بعض الأحيان إلى عدة أشهر في المناطق متوسطة الإرتفاع في طبقة الترابوسفير [Fishman *et al*., 1991]. ومن هنا يتضح لنا أن تركيزات الأوزون في طبقة الترابوسفير تعتمد إعتمادا كبيرا على تغيرات الزمان والمكان ولذلك فينبغي أن تؤخذ هذه المتغيرات في الحسبان عند محاولة تقدير آثار غاز الأوزون في أي منطقة كانت. أما عن تفاصيل معادلات التفاعلات الكيميائية المرتبطة بإنتاج أو إزالة غاز الأوزون وتفاعلاته مع بعض الملوثات والغازات الهوائية فلقد تمت مناقشتها في الفصل الرابع (النظريات العلمية المستخدمة) ، وفي كثير من الأحيان يتم التعبير عن نسبة تركيز أي غاز معين بالوحدات التالية مثل:

Parts per million, ppm; or Parts per billion, ppb; or Parts per trillion ppt.

وهذه وحدة تعبر عن نسبة الغاز المراد قياسه بالنسبة لوزن الهواء المحتوى في وعاءٍ معين، وهناك وحدة أخرى تستخدم لقياس نسبة غاز معين وهي ميكرو جرام لكل متر مكعب ($\mu g/m^3$) وهي الوحة التي استخدمتها هذه الدراسة.

ويعتمد مقدار تركيز هذه الغازات في الجو وبشكل رئيس على كمية الملوثات الكيميائية المنبعثة من عوادم عربات وحافلات النقل مثل CO، NO_2، NO، NO_x وغيرها وكذلك تعتمد على كمية الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على الأرض والتي تلعب دورا هاما في تغيير نسب هذه الغازات والملوثات عن طريق التفاعلات الضوء كيميائية الحادثة في على سطح الأرض. فعلى المستوى الدولي أوضحت قياسات الأوزون التي أخذت من الرحلات الجوية على مدينة هوستون (Houston) في الولايات المتحدة الأمريكية أن زيادة تراكيز المركبات العضوية المتطايرة المتفاعلة في جو مدينة هوستون قد نتج عنه زيادة غاز الأوزون إلى أكثر من ٥٠٠ ميكروجرام/ م٣ ($500\ \mu g/m^3$) ، وهذه تعتبر أعلى قيمة رصدت في الولايات المتحدة خلال خمس سنوات مضت منذ عام ٢٠٠٢ ميلادية [Kleinman *et al.*, 2002]. أما على الصعيد المحلي فقد تم قياس غاز الأوزون السطحي ولأول مرة في منطقة "منى" بمكة المكرمة ($21^o.25$ N, $39^o.49$ E) في المملكة العربية السعودية من قبل مركز أبحاث الحج (معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج حاليا) في الفترة الزمنية من ١٢ إلى ١٥ من شهر ذي الحجة لعام ١٣٩٩هـ حيث أوضحت الدراسة أن أعلى قيمة سجلت لغاز الأوزون السطحي في "منى" كانت في آخر يومين من أيام التشريق (١٢ و ١٣ من ذلك الموسم) كانت ٧٤ ميكروجرام/ م٣ [Abdel Salam *et al.*, 1399L]. في حين أن هذه القيمة إرتفعت إلى حدود ٨٢ ميكروجرام/ م٣ في اليوم الخامس عشر من شهر ذي الحجة لنفس العام والذي قد يكون سببه هو وصول عربات النظافة إلى المنطقة للبدء بعمليات النظافة والتعقيم بـ"منى" وهذا قد يؤدي إلى إرتفاع نسبة الغازات نتيجة إنبعاثها من عوادم عربات النظافة، وتجدر الإشارة هنا إلى أن هذه القياسات التي تمّ أخذها كانت في الحقيقة محصورة على فترتين زمنيتين خلال كل يوم من أيام الدراسة ولمدة نصف ساعة فقط حيث كانت الفترة الأولى من الساعة ٦,٣٠ ــ ٧,٣٠ صباحا والفترة الثانية من الساعة ٢,٠٠ ــ ٢,٣٠ ظهرا طيلة أيام الدراسة، وبالتالي فإنه قد يتوقع وجود تراكيز أخرى لغاز الأوزون السطحي قد تكون أكثر أو أقل مما تم رصده في تلك الدراسة وذلك لمحدودية القياسات التي أخذت خلال هذه الدراسة. وفي موسم الحج المنصرم لعام ١٤٢٤هـ والموافق ٢٠٠٤م، أي بعد ربع قرن من الدراسة الماضية، قام بعض الباحثين [نصرالله، وآخرون، ١٤٢٤هـ] بمعهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج بقياس تراكيز عدد من الغازات والملوثات ومن ضمنها غاز الأوزون السطحي وذلك كل ساعة على مدار اليوم خلال الفترة الزمنية من ٣ ــ ١٤ من شهر ذي الحجة، وكانت أعلى قيمة تمّ رصدها من قبل الباحثين خلال فترة الموسم (٦ ــ ١٤٢٤/١٢/١٤هـ) تقريبا ٨٦ ميكروجرام/ م٣، وذلك في اليوم السادس من شهر ذي الحجة عند تمام الساعة الثانية ظهرا، وهذه قيمة لاتختلف عن ما كانت عليه (٨٢ ميكروجرام/ م٣) في عام ١٣٩٩هـ، أما عن نسبة الخطأ في هذه القياسات فيمكن تجاهلها نظرا لدقة هذا الجهاز العالية حيث أن هذا الجهاز كانت تتم معايرته يوميا عند الساعة الواحدة صباحا هذا بالإضافة إلى أن هذه القياسات هي عبارة عن متوسط ٧٢٠ قراءة خلال الساعة الواحدة (بمعدل قراءة كل خمس ثوان) وهذا كله يجعل نسبة حدوث الخطأ في قياسات هذا الجهاز ضئيلة جدا ولا تذكر، وهذه القيمة (٨٦ ميكروجرام/ م٣) من تركيز غاز الأوزون السطحي تعتبر ضمن الحدود الآمنة لتركيز غاز الأوزون حيث أن الحد الأقصى المسموح بالتعرض له لغاز الأوزون في منظمة الصحة العالمية لمدة ساعة واحدة هو ٢٠٠ ميكروجرام /م٣ (WHO, 1987) .

٢ ـ ٣ أضرار غاز الأوزون

إن لغاز الأوزون السطحي آثارا سلبية على حياة الإنسان وغيره من الكائنات الحية حيث يعتبر غاز الأوزون من أنشط الغازات تفاعلا وأكثرها إثارة في الغلاف الجوي والتعرض له ولو لجرعات صغيرة قد يسبب إلتهابات وإضطرابات شديدة في الرئة [Bates, 1995]. وعندما ينفذ غاز الأوزون إلى الجهاز التنفسي فإنه يتفاعل بشكل قوي مع عدد كبير جدا من الجزيئات العضوية فيه مسببا له أضرارا كبيرة، ولقد لاحظت بعض الدراسات التي أجريت في الولايات المتحدة أن التعرض لجرعة كبيرة من غاز الأوزون تتجاوز الحدود الآمنة المسموح بها (١٥٠- ٢٠٠ ميكروجرام/ م٣ لمدة ساعة واحدة أو ١٠٠-١٢٠ ميكروجرام/ م٣ لمدة ثمان ساعات) من قبل منظمة الصحة العالمية (١٩٨٧) ، كان مرتبطا بشكل كبير بالإصابة بإنخفاضات وإلتهابات حادة ومزمنة في الرئة، فعلى سبيل المثال قام بعض الباحثين بدراسة العلاقة بين حالات الطوارئ اليومية التي أستقبلتها بعض المستشفيات نتيجة الإصابة ببعض الإلتهابات والإضطرابات الرئوية وتغيرها مع متوسط جرعة غاز الأوزون التي تمَّ التعرض لها كل ثماني ساعات في العاصمة البريطانية لندن في الفترة الزمنية من شهر أبريل عام ١٩٨٧م وحتى شهر فبراير لعام ١٩٩٢م [Ponce de Leon *et al*., 1996]. حيث أشارت هذه الدراسة إلى أن الحد الأعلى (Threshold) الذي لا يسمح تجاوزه في التعرض لمتوسط تركيز غاز الأوزون كل ثماني ساعات في لندن، يتراوح بين ٨٠ - ١٠٠ ميكروجرام/ م٣. إضافة إلى ذلك فقد لوحظ تغير نسبة عدد الوفيات في العاصمة البريطانية لندن نتيجة إرتفاع غاز الأوزون السطحي [Fowler *et al*., 1997] ، ولذلك كانت توصيات منظمة الصحة العالمية (WHO) أنه لا يوجد هناك حد أعلى (no threshold) للتعرض لهذا لغاز وذلك لخطورته على الجسم [WHO, 1995] ، كما أن آثار الأوزون السلبية على المحاصيل الزراعية قد أُكتشفت منذ عدة سنوات، فعلى سبيل المثال فلقد أشارت بعض الدراسات إلى أن إرتفاع مستوى غاز الأوزون في بريطانيا في بعض فصول الصيف قد أثر سلبيا وبشكل كبير جدا على إنتاجية المحاصيل الزراعية وعلى نمو الأشجار والخصائص التكوينية للنباتات [Fowler *et al*., 1997] ، هذ إضافة إلى ما يسببه الأوزون السطحي من إنتاج لبعض الغازات والملوثات الأخرى من خلال التفاعلات الضوء كيميائية والتي تلعب دورا هاما في التوازن الكيميائي في طبقة التروبوسفير.

الفصل الثالث

٣ الأجهزة العلمية المستخدمة

٣ – ١ مقياس الإشعاع فوق البنفسجي الكلي (TUVR)



شكل ١ جهاز TUVR

إن مقياس الإشعاع فوق البنفسجي الكلي TUVR (شكل ١) هو جهاز يستخدم لقياس أشعة الشمس فوق البنفسجية الساقطة على الأرض في الأطوال الموجية القصيرة والمحصورة في المدى الموجي (295 to 385 nm) أي أنها تغطي معظم المدى المتوسط والأعلى للإشعاع فوق البنفسجي(UVB & UVA). وفي هذا البحث تم إستخدام جهازين لقياس الإشعاع فوق البنفسجي الساقط على "منى" ومن ثمّ أخذ متوسط قراءتيهما، وهذان الجهازان يحملان الأرقام التسلسلية التالية TUVR 31726 و TUVR 26082، وكلا الجهازين من صنع شركة إبلي الأمريكية (The Eppley Laboratory Inc) الخاصة بصناعة أجهزة قياس الإشعاع الشمسي.

يحتوي جهاز مقياس الإشعاع فوق البنفسجي الكلي على خلايا كهروضوئية غير فلزية مصنوعة من مادة السِلِنيوم وهي محكمة الإغلاق ومحمية بنافذة من مادة الكوارتز، وهذا الجهاز حساس للضوء بشكل كبير بحيث يمكن تشغيله عند مستويات منخفضة من ضوء الشمس وكذلك في الظروف التي يكون فيها التيار النافذ صغير جدا مما يضفي على الجهاز درجة عالية من الإنجاز والإستقرارمهما طالة فترة القياسات وتجميع البيانات. ويتألف هذا الجهاز من مرشح ممرات موجية ضيق يقوم بقصر الإستجابة الطيفية للخلايا الضوئية على الأطوال الموجية ذات المدى الموجي المسموح به للجهاز (295 to 385 nm) والذي غالبا ما يكون قريبا من مدى أشعة الشمس فوق البنفسجية التي تصل إلى سطح الأرض والتي تكون في الإرتفاعات العالية (5 km). كما يحتوي الجهاز على كاشف للإشعاع عبارة عن قرص دائري مصنوع من مادة التفلون (Teflon diffuser) وهو يساعد على خفض كمية التدفق الإشعاعي على الخلايا الضوئية الموجودة تحت المرشح إلى المستويات المقبولة للجهاز وكذلك يجعل أداء الجهاز أثناء القياسات أكثر ملاءمة وموافقة مع قانون لامبرت الخاص بجيب تمام الزاوية للإشعاع الشمسي الساقط والذي يعرف باسم (The Lambert cosine law). وهذا القرص ذو مميزات وصفات موحدة من حيث تشتيت ورصد الأشعة الساقطة عليه عبر المدى الموجي المختار وكذلك من حيث التوزيع الهندسي في داخل النظام، وقنوات الخلية الضوئية الموجودة في الجهاز تكون موصلة عبر مقوم دقيق ومحكم بحيث يتم قياس النبضة على شكل فولت (فرق جهد) يسقط عبر هذا المقوم والذي يتم من خلاله ضبط مقدار التيار الذي يسري في هذه الدائرة على أن لا يتجاوز بضع مايكرو أمبير وهو ما يزيد من إستقرار الخلية الضوئية، وجميع هذه المكونات قد ركبت ونظمت في داخل أنبوب نحاسي مطلي لحماية محتويات الجهاز الداخلية كما أن الكاشف

الحلقي قابل للإزالة وقد تم دمجه مع الحلقة الدائرية لمقاومة العوامل الجوية المتغيرة وكذلك منع تسرب الماء أو الهواء إلى داخله، ويحتوي الجهاز على وعاء تجفيف كيميائي للرطوبة تم تثبيته على جدار الأنبوب النحاسي كما يوجد على قاعدة الجهاز ميزان تسوية كحولي دائري وهذه القاعدة تحتوي على ثلاثة مسامير لولبية لوزن الجهاز وهذه المنصة تحتوي على ثلاثة فتحات أو ثقوب لتثبيت الجهاز أثناء القياسات.

٣ ـ ١ ـ ١ معايرة الجهاز

يمكن معايرة جهاز مقياس الإشعاع فوق البنفسجي الكلي بثلاثة طرق:

الطريقة الأولى: المعايرة بإستخدام مصباح الإشعاعية الطيفية

وهي تتم في داخل معمل التجارب وذلك عن طريق تعريض جهاز مقياس الإشعاع فوق البنفسجي الكلي لقياس الأشعة فوق البنفسجية المنبعثة من مصباح خاص بالإشعاعية الطيفية والتابعة للمعهد الأمريكي الوطني للمعايير والتقنية (NIST) حيث تتم هذه المعايرة من خلال أربع إعتبارات، أولها فصل المدى الموجي للأشعة فوق البنفسجية المخصص للقياس وثانيها قياس منحنى النفاذية عبر المرشح المستخدم والذي يسمح بمرور هذا المدى الموجي المحدود وثالثها قياس منحنى الإستجابة الطيفية لراصد الخلية الضوئية الموجود في الجهاز ورابعها حساب وإستنتاج معاملات المعايرة التي يتم إستخدامها بعد ذلك في تحويل القراءات الأولية والتي تكون محسوبة بالفولت (وحدة فرق الجهد) إلى القراءات المعايرة والتي تكون بإستخدام وحدة الواط لكل متر مربع. وهذه المعايرة عادة ما تتم للجهاز بعد صنعه مباشرة وقبل إرساله للجهة المستفيدة.

الطريقة الثانية: المعايرة بإستخدام مقياس إشعاع فوق بنفسجي مرجعي

وفيها تتم معايرة مقياس الإشعاع فوق البنفسجي الكلي جنبا إلى جنب مع جهاز مرجعي لقياس الإشعاع فوق البنفسجي الكلي (وهو نفس جهاز مقياس الإشعاع فوق البنفسجي الكلي غير أنه يحتوي على مواصفات عالية جدا في الدقة والإستقرار) ، وفي هذه المعايرة يتم إستخدام الشمس كمصدر للأشعة فوق البنفسجية، ويتم تثبيت كلا الجهازين بشكل أفقي لا يزيد عن 0.2^{o} قدر الإمكان، طيلة فترة المعايرة وكذلك أثناء فترة القياسات ثم بعد ذلك يتم تنظيف وتوجيه كلا الجهازين إلى السماء. ثم يتم جمع القراءات بعد ذلك من كلا الجهازين ويتم تحليلها والتأكد من أن كلا الجهازين كانا متفقان في الوقت وكان لديهما فرق جهد ثابت عبر قناتيهما ومن ثم يتم حساب فرق الجهد أثناء الليل (الظلام) لكل منهما إن وجد ويتم إستخدامهما كمصحح لفرق الجهد المحسوب أثناء النهار لكلا الجهازين ثم نستخدم التحليل الإحصائي الخطي (The linear regression analysis) لقياسات فرق الجهد للجهاز المراد معايرته وما يناظره من قياسات الإشعاع فوق البنفسجي المعاير والذي تم رصده بإستخدام الجهاز المرجعي من أجل إستنتاج معاملات المعايرة الجديدة للجهاز المراد معايرته. ويفضل أن تكون السماء صافية طيلة فترة المعايرة وذلك للتقليل من أثر إختلاف المدى الموجي المحسوس من قبل الجهازين والذي قد يحدث بسبب إختلاف إستجابة كلا الجهازين لتغيرات

نفاذية الأشعة فوق البنفسجية الساقطة أثناء الأجواء المتقلبة أوالتي تحتوي على سحب كثيفة وذات خواص متغيرة. وهذه هي الطريقة التي تم إستخدامها مؤخرا في معايرة أجهزة مقياس الإشعاع فوق البنفسجي التابعة للمعهد من قبل شركة إبلي الأمريكية للمعايرة والصيانة قبل موسم حج عام ١٤٢٤هـ، وكان مقدار الخطأ النسبي الخاص بهذه الأجهزة في حدود 5% مقارنة مع الجهاز المرجعي.

الطريقة الثالثة: المعايرة بإستخدام جهاز مقياس الإشعاعية الطيفية الإسبكتروردیومتر

وفي هذه الطريقة يتم عمل مقارنة تبادلية بين قراءات جهاز مقياس الإشعاع فوق البنفسجي وقياسات جهاز مقياس الإشعاعية الطيفي عالي الدقة والذي يعرف بإسم إسبكتروردیومیتر (Spectroradiometer) وفي هذه الحالة تستخدم أشعة الشمس كمصدر للإشعاع فوق البنفسجي وتتم عملية المعايرة هذه من خلال الخطوات التالية:

أولا: كلا الجهازين يوضعان جنبا إلى جنب ويتم تنظيف راصد كل منهما بإستخدام مادة من الكحول أو الماء ثم يتم تجفيفهما بأقمشة رقيقة جافة.

ثانيا: يتم وزن مستوى كلا الجهازين بشكل أفقي ويستخدم مؤشر الميزان المائي لكل منهما إن وجد أو أي ميزان خارجي آخر.

ثالثا: يتم ضبط درجة حرارة كلا الجهازين في الحدود المسموحة لكل منهما فمثلا يتم ضبطها في حدود ٤٠ درجة مئوية في حالة جهاز مقياس الإشعاع فوق البنفسجي الكلي.

رابعا: يتم ضبط وقت تشغيل كلا الجهازين بحيث يكونا متماثلين قدر الإمكان ولا يتجاوز الفرق بينهما الخمس ثوان إن أمكن.

خامسا: يفضل أن تكون فترة أخذ العينة (قياس الإشعاع خلال المدى الموجي المحدد) لا تتجاوز في المتوسط الدقيقة الواحدة طيلة فترة المقارنة المتبادلة أثناء المعايرة وهذا من شأنه أن يقلل من أثر تغير أحوال الطقس المحتملة أثناء الدراسة بسبب إختلاف طريقة الجهازين في أخذ العينة حيث أن جهاز الإسبكتروردیومیتر يقوم بقياس الإشعاع عند كل طول موجي مفرد ثم ينتقل للطول الموجي التالي وهكذا حتى يمر على جميع المدى الموجي المحدد في حين أن مقياس الإشعاع فوق البنفسجي الكلي يقوم بقياس الإشعاع الكلي عبر المدى الموجي المحدد ومن ثمّ عمل تكامل للمدى الموجي المحدد لحساب الإشعاع فوق البنفسجي الكلي في وقت واحد.

سادسا: يتم حساب فرق الجهد المتخلف أثناء الليل ومن ثم طرحه من قياسات فرق الجهد التي تم أخذها من مقياس الإشعاع فوق البنفسجي الكلي.

سابعا: في هذه الخطوة يتم حساب معاملات المعايرة عن طريق أخذ حاصل قسمة قياسات فرق الجهد المقاسة من قبل الجهاز المراد معايرته (TUVR) على الإشعاعية الطيفية الكلية والتي تم قياسها بإستخدام جهاز الإسبكتروردیومیتر.

٣ – ٢ جهاز تسجيل وتحميل البيانات (CR10X Model Data Logger)

وهو جهاز يحتوي على نظام تحكم يمكن من خلاله تسجيل القراءات والبيانات التي يتم رصدها عبر أجهزة الكواشف أو الرواصد التي يتم توصيلها به هذا إضافة إلى إمكانية تحميل بعض البرامج والتطبيقات المراد تنفيذها وإدارتها أثناء الدراسة. والنموذج المستخدم هنا هو CR10X Model، والمصنوع من قبل شركة كامبل (Campbell) والذي يعمل تحت فرق جهد قدره ١٢ فولت وهو جهاز عالي الدقة ويمكن إستخدامه لأغراض شتى من التطبيقات العلمية والمعملية ويمكن إستخدامه في مجالات البحث العلمي ذات المدى الزمني البعيد ولأكثر من تطبيق علمي في نفس الوقت. وفي هذه الدراسة تمّ إستخدامه في تسجيل وتحميل قياسات الإشعاع فوق البنفسجي لكلا جهازي مقياس الإشعاع فوق البنفسجي الكلي وذلك عن طريق توصيل أحد قنواته ذات فرق الجهد المتغير بكل جهاز على حده بواسطة أسلاك التوصيل لتسجيل وتحميل جميع القراءات (شكل ٢) المراد رصدها حسب البرنامج المستخدم (أنظر ملحق ١) لذلك والذي تمَّ تحميله.



شكل ٢ جهاز تسجيل وتحميل البيانات من نوع CR10X Model.

٣ – ٣ أجهزة متنقلة لقياس الملوثات

وهي أجهزة مثبتة في وسيلة نقل متحركة كي يتسنى إستخدامها في عدة مواقع وفي أوقات مختلفة بطريقة سلسة وميسرة حيث يتم عن طريق هذه الأجهزة قياس بعض الغازات المنبعثة من وسائل النقل المختلفة او أي مصادر أخرى مثل المصانع وغيرها ولقد تمّ في هذه الدراسة قياس غازات الأوزون وأكاسيد النيتروجين عن طريق إستخدام الأجهزة التالية:

٣ – ٣ – ١ جهاز تحليل الأوزون عن طريق قياس الشدة الضوئية فوق البنفسجية

وهو يعرف كذلك باسم (UV Photometric Ozone Analysis) وهو جهاز يستخدم لقياس تركيز غاز الأوزون على سطح الأرض بإستخدام طريقة فيزيائية يتم من خلالها تمرير غاز الأوزون عبر أنبوب العينات المأخوذة من الهواء ثم تسلط عليها أشعة فوق بنفسجية ذات مدى ترددي معين والتي تمتص بدورها بواسطة غاز الأوزون وهذا الإمتصاص يتم ترجمته إلى نبضات عالية القمم كإشارة إلى وجود غاز الأوزون والذي يعبر عنه في الجهاز كتركيز غازي وحدته هي جزء من المليون ppm. وهذه الأجهزة تتم معايرتها يوميا خلال ساعة واحدة فقط يوميا ومن هنا يمكن إعتبار نسبة الخطأ في قياسات هذه الأجهزة صغيرة جدا ويمكن تجاهلها نظرا لهذه المعايرة اليومية للأجهزة.

٣ – ٣ – ٢ جهاز تحليل أكاسيد النيتروجين عن طريق قياس الضيائية الكيميائية

وهو يعرف كذلك باسم (Chemiluminescent NO_x Analysis) وهو جهاز لتحليل غاز أكاسيد النيتروجين بالطريقة الضيائية الكيميائية والمعتمدة على إنبعاث الضوء من التفاعل الكيميائي ويتم فيه أخذ عينة من أكاسيد النيتروجين وتعريضها إلى تفاعل كيميائي مع بعض الغازات مثل الأوزون وهذا التفاعل الكيميائي ينتج عنه إنبعاث ضوء يتم ترجمته عبر الجهاز إلى نبضات عالية القمم كإشارة إلى وجود تراكيز لأكاسيد النيتروجين وللمزيد من المعلومات عن هذه الأجهزة وآليات عملها والطريقة الفيزيائية المستخدمة فيهايمكن الحصول عليها من بعض المراجع العلمية الخاصة بتلوث الهواء [نصرالله، ٢٠٠١].

الفصل الرابع

٤ النظريات العلمية المستخدمة

في فترة موسم الحج من كل سنة وخاصة في فترة الذروة (من الثامن وحتى الثالث عشر من شهر ذي الحجة) يقبل حجاج بيت الله الحرام على المشاعر المقدسة بمكة المكرمة من أجل أداء فريضة ومناسك الحج، ونظرا لكثافة عدد حجاج بيت الله الحرام تزداد حركة النقل بوسائلها المختلفة وخاصة الحافلات منها (محركات الديزل) في كلٍ من مكة والمشاعر المقدسة وخاصة في "منى" حيث يقضي فيها الحجاج معظم فترة حجهم حيث يذهبون إلى "منى" يوم التروية الموافق الثامن من ذي الحجة ويمكثون بها حتى صباح يوم عرفة الموافق التاسع من الشهر نفسه ثم يعود الحجيج بعد ذلك إلى "منى" يوم عيد الأضحى المبارك للمبيت بها ليالي التشريق بدءًا من ليلة الحادي عشر وحتى الثاني عشر لمن أراد أن يتعجل أو الثالث عشر لمن أراد أن يتأخر، وطيلة هذه الفترة تزدحم جميع طرق "منى" بالحافلات والسيارات ليلا ونهارا مؤدية إلى إنبعاث كمٍ هائل من الغازات والملوثات الهوائية طيلة اليوم والتي ينتج عنها وعن التفاعلات الضوء كيميائية التي تتم بينها وبين أشعة الشمس أثناء النهار زيادة إرتفاع نسب تراكيز هذه الغازات والملوثات الكميائية في الجو والتي من أمثلتها غاز أول أكسيد الكربون (CO) وغاز أول أكسيد النيتروجين (NO) وغاز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2) وغاز الأوزون السطحي (O_3).

وفي هذا الفصل سوف نعرض لبعض التفاعلات الكيميائية والضوء كيميائية التي يمكن أن تتم بين بعض الغازات والملوثات الكيميائية ذات الصلة بزيادة أو إنخفاض تركيز غاز الأوزون والتي تتم في الأجواء الملوثة المحتوية على نسب عالية من أكاسيد النيتروجين (NO_2 و NO) وهي الحالة الأقرب واقعا للوضع الحاصل في منطقة "منى" أثناء فترة الذروة.

عندما ترتفع نسب غازات NO_2 و NO في أجواء "منى" وعلى الأخص أثناء النهار عندما تكون الشمس ساطعة فإن عمليات التفاعل الضوء كيميائي المتبادلة بين NO_2 و NO وأشعة الشمس فوق البنفسجية (hν)، تبدأ بتحويل NO إلى NO_2 عن طريق التفاعل مع غاز الأوزون السطحي حسب التفاعل التالي:

$$2NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$$

أو بتحويل NO_2 إلى NO عن طريق تفاعل NO_2 مع أشعة الشمس فوق البنفسجية حسب التفاعل التالي:

$$3NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O \qquad 280 \le \lambda \le 424 \text{ nm}$$

$$4O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$$

وهذا هو التفاعل الوحيد والذي يؤدي إلى إنتاج غاز الأوزون في الغلاف الجوي سواءا على سطح الأرض في طبقة التربوسفير أو في طبقة الإستراتوسفير، وفيه يتم التفاعل رقم (٣) بشكل سريع جدا مايلبث وأن يعقبه التفاعل رقم (٤) لذا يعتبر التفاعل رقم (٢) خطوة حدودية فاصلة يعتمد عليها كلا التفاعلين التاليين لها

(٣ و ٤). وبإمعان النظر في التفاعلات الماضية نجد أن التفاعلات من ٢ إلى ٤ تشكل مايعرف بدائرة التفاعل الكيميائي المغلق (**closing chemical cycle**) غير المحتوي على أي ناتج كيميائي، أي أن محصلة مجموع هذه التفاعلات الكيميائية ذات الصلة هو صفرا أي أن كل ما ينتج من غاز الأوزون في التفاعل الكيميائي رقم (٤) يتم إستهلاكه مرة أخرى عبر التفاعل رقم (٢) وهكذا تستمر هذه الدائرة المغلقة من التفاعلات بدون أي نواتج وهو مايعرف باسم **حالة الإستقرار الضوئي** (**photostationary state**). وحيث أن هناك تركيزا لغاز الأوزون السطحي يمكن قياسه على سطح الأرض فلا بد وأن يكون هناك طريق آخر من التفاعلات الكيميائية الأخرى المرتبطة ببعض الجذور (Radicals) الكيميائية الحرة (**free radicals, HO_x = OH and HO_2**) والمتفاعلة في الهواء مثل جذور فوق الأكسيد (البروكسي) العضوية (**organic peroxy radicals, RO_2**) والتي تحتوي على مجموعة مختلفة من جذور الأكسيد العضوية مثل جذور أكسيد الهيدرو أو مايعرف بجذور الهيدروبروكسي (**hydro peroxy radical, HO_2**) أو مثل جذور أكسيد المِثيل أو مايعرف بجذور المِثيل بروكسي (**methyl peroxy radical, CH_3O_2**) والتي يتم من خلالها تحويل NO إلى NO_2 حسب التفاعلات التالية:

5 HO_2 + NO → OH + NO_2

6 CH_3O_2 + NO → CH_3O + NO_2

كلا هذين التفاعلين (٥ و ٦) يمثلان مصدرين آخرين إضافيين لإنتاج NO_2 والذي بدوره يتفاعل مع أشعة الشمس فوق البنفسجية مؤديا إلى زيادة نسبة تركيز غاز الأوزون في الهواء (كما في تفاعل ٣ و ٤) ، إلا أنه في هذه الحالة لا يتم إستهلاك غاز الأوزون الناتج كما في حالة الإستقرار الضوئي. أما بالنسبة لمصادر هذه الجذور الكيميائية الحرة في الهواء فهناك مصادر عدة لها وهذه المصادر تختلف بإختلاف طبيعة وكمية الملوثات الموجودة في الهواء وليس هذا مجال سردها هنا حيث أنه لم يتم قياسها خلال الدراسة لما تحتاجه مثل هذه القياسات إلى دقة وإعدادات وتقنيات كيميائية عالية جدا وعدد كبير من الأجهزة والمعايرات الكيميائية كما أن الذي يخصنا في هذه الدراسة هو تراكيز أكاسيد النيتروجين، NO_x، حيث أن لها أهمية كبيرة جدا في تحديد مدى إنتاجية أو تدمير غاز الأوزون السطحي الموجود في طبقة التروبوسفير. فعلى سبيل المثال قام بعض الباحثين في محطة البحوث الجوية في منطقة تسمى **ماس هد** وهي منطقة تقع على الشاطيء الغربي لإيرلندا بقياس تركيز كل من غاز الأوزون السطحي وكذلك NO_x، ولاحظ الفريق العلمي أن إنتاج غاز الأوزون في هذه المنطقة قد فاق تدميره عندما كان تركيز غاز أول أكسيد النيتروجين (NO) في حدود ٥٥ ± ٣٠ جزء من الترليون (55±30 ppt) وهو ما يعادل ٠,١١ ± ٠,٠٦ ميكروجرام/ م٣ [Carpenter *et al.*, 1997]، في حين وجدوا أنه عندما إنخفض تركيز NO إلى أقل من هذه العتبة الحدودية (55±30 ppt) فإن HO_2 تفاعل مع غاز الأوزون مؤديا إلى خفض تركيزه حسب العلاقة التالية:

7 HO_2 + O_3 → OH + $2O_2$

أما في حالة زيادة تركيز NO إلى أكثر من هذه العتبة الحدودية فإن كلاً من HO_2 و CH_3O_2 يقوم بتحويل أول أكسيد النيتروجين إلى ثاني أكسيد النيتروجين، عن طريق التفاعلان ٥ و ٦ والتي يتبعها بعد ذلك إنحلال NO_2 بالأشعة فوق البنفسجية لإصدار غاز الأوزون السطحي عبر التفاعلان رقم ٣ و ٤ مسببة زيادة تركيز غاز الأوزون على سطح الأرض وهذه هي الحالة التي تمثل أرض الواقع في منطقة "منى"، حيث وُجد أن أقل تركيز لغاز أول أكسيد النيتروجين تمّ رصده خلال موسم حج ١٤٢٤هـ قد فاق بكثير جدا الحد المذكور في الدراسة السابقة حيث بلغ أقل تركيز لغاز NO تقريبا 4000 ppt (٨ ميكروجرام/ م٣) أي أكثر من ٧٠ ضعفا للحد الذي ذكرته الدراسة التي عملت في إيرلندا، لذا فإنه يمكن إعتبار أن التفاعلين ٥ و ٦ هما أهم مصادر غاز الأوزون السطحي في منطقة "منى".

من المهم هنا أن نشير إلى أن هناك تفاعلات هدم (مصارف) أخرى لغاز NO_2 تؤدي إلى خفض تركيزه دون أن تؤدي إلى زيادة تركيز غاز الأوزون السطحي ومن ذلك التفاعل الحاصل بين NO_2 مع جذور HO_x كما في التفاعلات التالية:

$$OH + NO_2 + M \rightarrow HNO_3 + M \quad (8)$$

$$HO_2 + NO_2 + M \leftrightarrow HO_2NO_2 + M \quad (9)$$

وتجدر الإشارة هنا إلى أن قياسات الأشعة فوق البنفسجية التي تمت في هذه الدراسة كانت مقصورة على المدى الذي يقيسه جهاز مقياس الإشعاع فوق البنفسجي TUVR (295 to 385 nm) وهو أقل من المدى الفاعل في عملية التفاعل الضوء كيميائي ($280 \leq \lambda \leq 424$ nm) الحاصل بين أشعة الشمس فوق البنفسجية وغاز ثاني أكسيد النيتروجين، ومن هنا نتوقع أن يؤثر هذا النقص في المدى الموجي المقاس على مستوى التوافق والتضاد الحاصل بين الأشعة والغازات، إلا أن هذا التأثير يمكن إعتباره محدودا حيث أن غالبية المدى الموجي الفاعل قد تم رصده من قبل جهاز TUVR.

الفصل الخامس

٥ النتائج والمناقشة

٥ – ١ قياس الأشعة فوق البنفسجية الكلية



شكل ٣ جهازي TUVR أثناء الدراسة في "منى" لموسم حج عام ١٤٢٤هـ

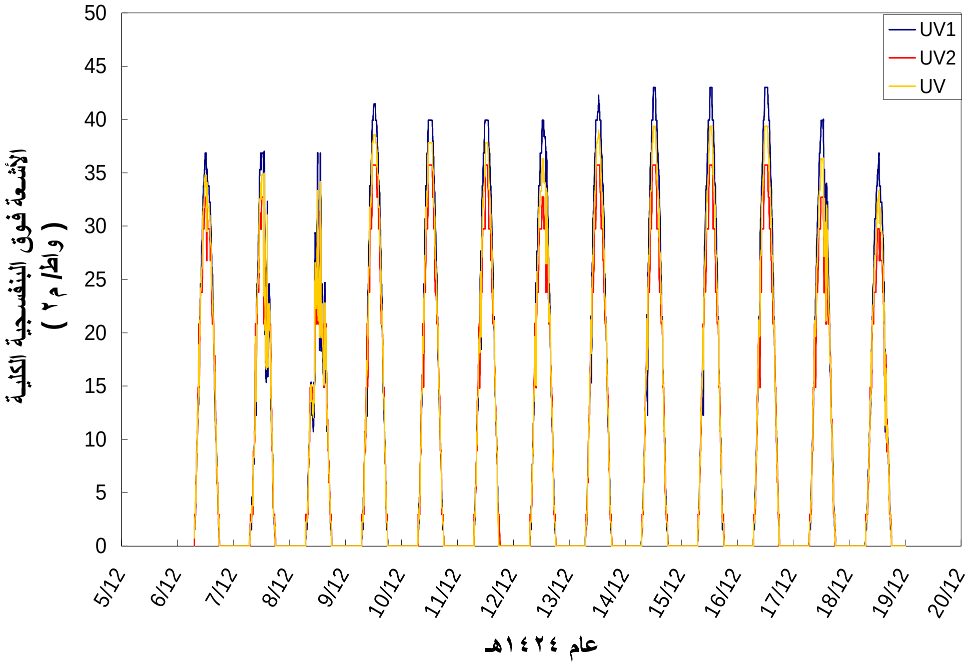
في هذه الدراسة قمنا بقياس الأشعة فوق البنفسجية الكلية الساقطة على منطقة "منى" (407 m altitude, 21°.25 N, 39°.52 E) وذلك بمقر معسكر معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج ب"منى" بواسطة إستخدام جهازين من TUVR على إرتفاع خمسة أمتار عن سطح الأرض (أنظر شكل ٣) حيث تمّ تسجيل وأخذ القراءات لكلا الجهازين كل عشر دقائق بدءا من شروق الشمس عند الساعة السابعة صباحا وحتى غروبها عند الساعة السادسة مساءا وفقا للتوقيت المحلي لمدينة مكة المكرمة خلال الفترة الزمنية من ٦ – ١٤٢٤/١٢/١٨هـ والموافق ١/٢٨- ٢٠٠٤/٢/٩م، وقياسات هذين الجهازين قد تم رصدها (ملحق ٢) ورسمها بيانيا مع القيمة المتوسطة بالنسبة لكل ساعة خلال فترة الدراسة كما في (شكل ٤).

لقد تم مقارنة قراءتي كلا الجهازين خلال الفترة الزمنية من الساعة العاشرة صباحا وحتى الساعة الرابعة مساءا وهي الفترة التي ينبعث فيها قرابة ٧٠% من الأشعة فوق البنفسجية، ووجدنا أن نسبة الخطأ المئوي قد وصلت إلى حوالي ١٣% وهذا يمكن إرجاعه إلى عدة عوامل منها إختلاف مقدرة كل جهاز في رصد وإكتشاف الإشعاع فوق البنفسجي خاصة في قيمه الصغيرة عندما تكون زاوية السمت الشمسية كبيرة بحيث لا ينفذ إلا جزء ضئيل من هذه الأشعة في المدى المقاس من كلا الجهازين (295 to 385 nm) وكذلك قد يعود السبب إلى أن مدى كل جهاز قد يحدث له إزاحة إلى الأمام قليلا أو إلى الخلف قليلا خاصة عندما تكون هناك تغيرات سريعة في حالة الطقس مما قد يتسبب في إختلاف سرعة إستجابة كل جهاز من الجهازين أثناء فترة الدراسة خاصة في المدى الموجي القصير (295 nm) والذي أصلا لا يصل الأرض إلا بكميات قليلة جدا ومتغيرة، وهذا الإختلاف في سرعة الإستجابة قد يزداد أكثر في حالة وجود غازات أو غبار أو ذريات في الهواء، ومن أسباب هذا الإختلاف كذلك أن هذه الأجهزة تستخدم مرشحات (فلاتر) خاصة، تقوم بعمل مايعرف بالإلتفاف (Interpolation) على الأشعة فوق البنفسجية الساقطة في المدى المحدد ومن ثمّ أخذ التكامل الكلي من أجل حساب الإشعاع فوق البنفسجي الكلي وهذه هي الطريقة المستخدمة في المعايرة وكذلك في القياس، ودرجة دقة هذا الإلتفاف تعتمد وبشكل كبير على مكونات الغلاف الجوي وبالأخص على

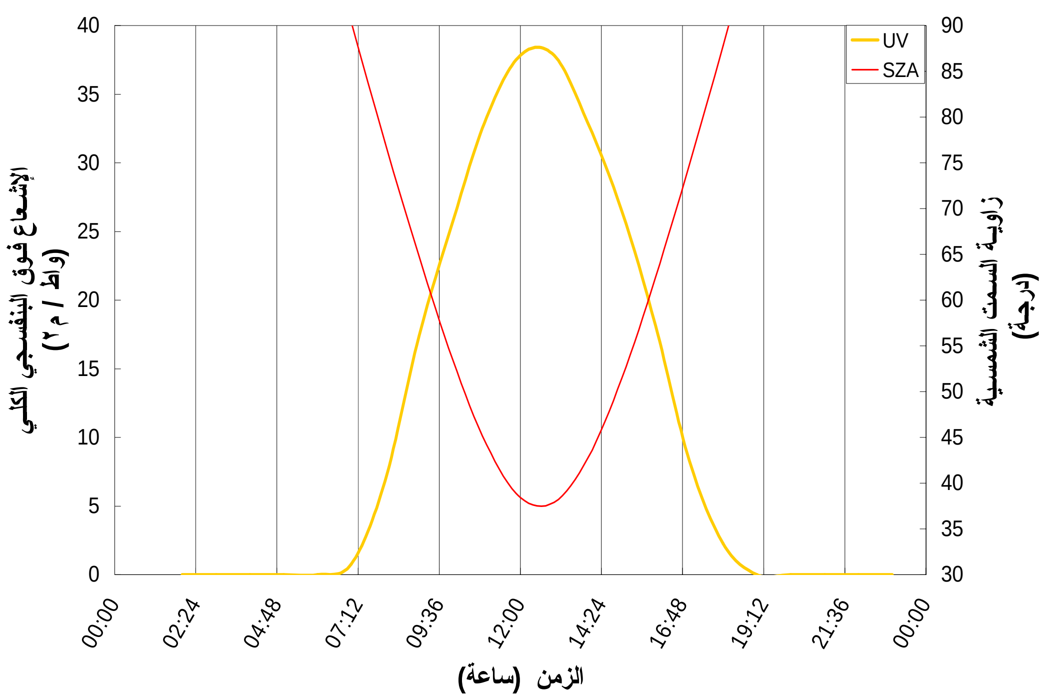
عمود الأوزون الكلي والسحب والغازات والدقائق العالقة في الهواء وكذلك على زاوية السمت الشمسية، أمر أخير يمكن له كذلك أن يؤثر على دقة قياس هذا النوع من الأجهزة ذات المرشحات، ألا وهو أن معايرة هذه الأجهزة تمت تحت ظروف بيئية معينة وخاصة بمكان المعايرة (في مقر شركة إبلي بالولايات المتحدة الأمريكية) من عمود الأوزون الكلي وزاوية السمت الشمسية وغيرها أستخدمت فيها الشمس كمصدر للإشعاع فوق البنفسجي وبناءا على هذه الظروف أُستنتجت معاملات المعايرة لكل جهاز وبالتالي فإن هذه المعاملات العيارية تكون دقيقة وبشكل كبير في حالة أن الظروف البيئية أثناء أخذ القياسات تكون مماثلة ومقاربة قدر الإمكان لتلكم الظروف التي كانت أثناء فترة المعايرة وهو الشيء الذي لا يمكن ضمانه أو تحقيقه خلال فترات اي دراسة أخرى لخروج ذلك عن السيطرة أو التحكم وبالتالي قد يؤدي هذا الإختلاف إلى تغير في قراءات هذه الأجهزة وعدم توافق خاصة إذا إختلفت ظروف معايرة كل جهاز ، وحيث إن كلا الجهازين تمت معايرتهما في نفس اليوم وتحت نفس الظروف البيئية المحيطة فإن هذا التغير قد يكون صغيرا جدا أو قد لا يوجد أصلا هنا. وعلى كل حال فإن نسبة الإختلاف بين كلا الجهازين صغيرة جدا (١٣%) خاصة إذا أخذنا في الإعتبار نسبة الخطأ المئوية بين كل جهاز من هذين الجهازين على حده وبين الجهاز المرجعي المستخدم للمعايرة هي ١٣% كذلك وبالتالي فيمكن إعتبار الخطأ المئوي بين الجهازين المستخدمين في القياسات هو ضمن أخطاء معايرة الأجهزة. ومن مصادر هذا الخطأ المئوي في المعايرة هو أن العلاقة بين تغير فرق الجهد الذي يقيسه جهاز TUVR وتغير الطاقة الساقطة على وحدة المساحات لا يمكن الجزم بأنها علاقة خطية دوما نظرا لتأثرها باختلاف مكونات الغلاف الجوي. ومن الرسم البياني يتضح مدى تغير مستوى الإشعاع فوق البنفسجي الكلي الساقط على "منى" نتيجة لتغير أحوال الطقس مثل كمية السحب التي كانت موجودة في السماء أثناء فترة الدراسة كما أن تغير نسب تراكيز الغازات أو الجسيمات الدقيقة العالقة في الهواء قد تضيف بعض التغيرات على هذه الأشعة وذلك بحسب نسبة تركيز هذه الغازات والجسيمات الدقيقة العالقة في الهواء، وهذا هو سبب تلك التموجات البسيطة في منحنى القياسات التي تم مشاهدتها في بعض أيام الدراسة مثل يوم السابع والثامن من شهر ذي الحجة (أنظر الشكل).

٥ ـ ٢ تغير الأشعة فوق البنفسجية بتغير زاوية السمت الشمسية (SZA)

أما بالنسبة لدراسة علاقة تغير متوسط كمية الأشعة فوق البنفسجية الساقطة المحسوبة من كلا الجهازين مع تغير زاوية السمت الشمسية (SZA) فقد قمنا بدراستها لأحد أيام الدراسة وهو آخر أيام التشريق (١٤٢٤/١٢/١٣هـ) والذي كانت فيه السماء في معظمها صافية، حيث رسمنا كلا من تغير أشعة الشمس فوق البنفسجية وزاوية السمت الشمسية مع الزمن (شكل ٥) ، ومن الشكل يتضح مدى العلاقة العكسية بين زاوية السمت الشمسية وأشعة الشمس فوق البنفسجية الساقطة والسبب في هذا السلوك المضاد هو أنه كلما زادت زاوية السمت كلما زادت المسافة الفاصلة بين الأرض والشمس وبالتالي تزيد إمكانية حدوث عمليات الإمتصاص والإنعكاس التي تحصل للأشعة الساقطة أثناء عبورها في الغلاف الجوي مما ينتج عنه إنخفاض كبير في كمية الأشعة فوق النفسجية الساقطة، وفي حالة وجود السحب فإن عمليات التوهين لهذه الأشعة تزداد أكثر وأكثر (أنظر الفصل التالي تغير الأشعة فوق البنفسجية بتغير أحوال الطقس).



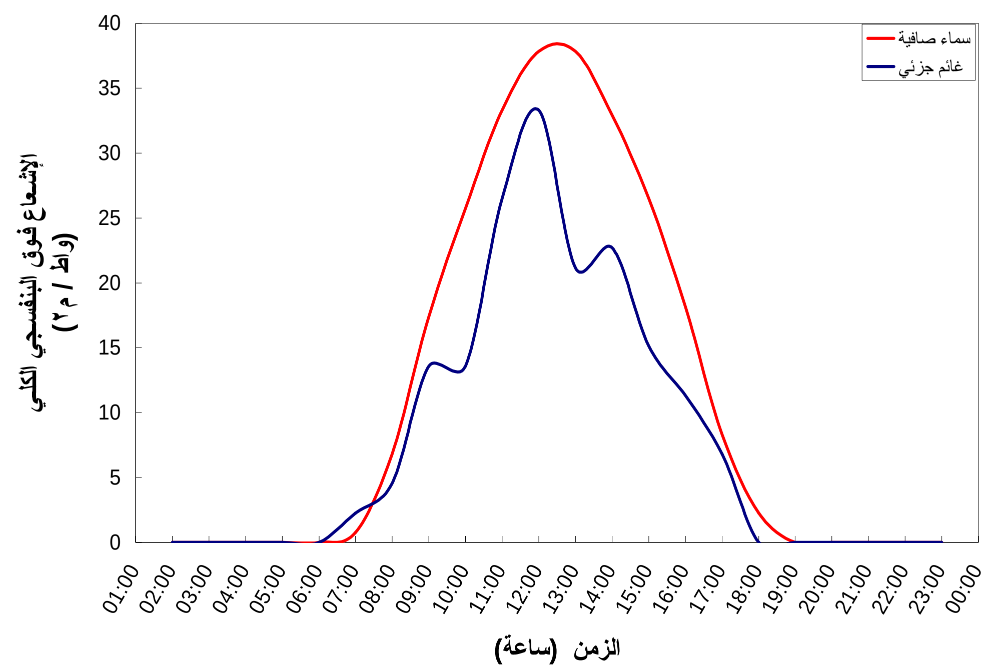
شكل ٤ مقدار تغير الأشعة فوق البنفسجية الكلية الساقطة على "منى" خلال موسم الحج لعام ١٤٢٤هـ في الفترة الزمنية من ٦ـ ١٨/١٢/١٤٢٤هـ.



شكل ٥ العلاقة بين الأشعة فوق البنفسجية الساقطة (UV) وزاوية السمت الشمسية (SZA) (١٣/١٢/١٤٢٤هـ).

٥ ــ ٣ تغير الأشعة فوق البنفسجية بتغير أحوال الطقس

ويمكن دراسة علاقة تغير متوسط الأشعة فوق البنفسجية مع تغير أحوال الطقس، حيث كانت هناك أيام سماؤها صافية مثل يوم الثالث عشر من ذي الحجة وأيام سماؤها غائمة جزئيا مثل يوم الثامن من ذي الحجة ولقد تم رسم الأشعة فوق البنفسجية في كلا هذين اليومين بيانيا كمتغير مع الزمن كما في شكل ٦، ومن الشكل يتضح أثر وجود السحب على نفاذية الأشعة فوق البنفسجية حيث إنها قامت بتقليل مقدار كمية هذه الأشعة مقارنة بما وجدناه في اليوم الذي سماؤه صافية ولهذا وجدنا أن أعلى قيمة وصلت إليها الأشعة فوق البنفسجية في اليوم الذي سماؤه صافية كانت ٣٩ واط/م٢ في حين إنخفضت هذه القيمة إلى قرابة ٣٣ واط/م٢ في اليوم الغائم جزئيا (اليوم الثامن من ذي الحجة) ، ومن الشكل نجد بعض التموجات التي حصلت للمنحنى والتي نتجت عن حجب جزء من هذه الأشعة بالسحب خلال ذلك اليوم إضافة إلى إختلاف الخصائص البصرية لهذه السحب وهذا يتفق مع ماذكره بعض الباحثين من أن بعض السحب تؤدي إلى توهين الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على الأرض [Schafer *et al.*, 1996].



شكل ٦ العلاقة بين الأشعة فوق البنفسجية وتغير حالة الطقس

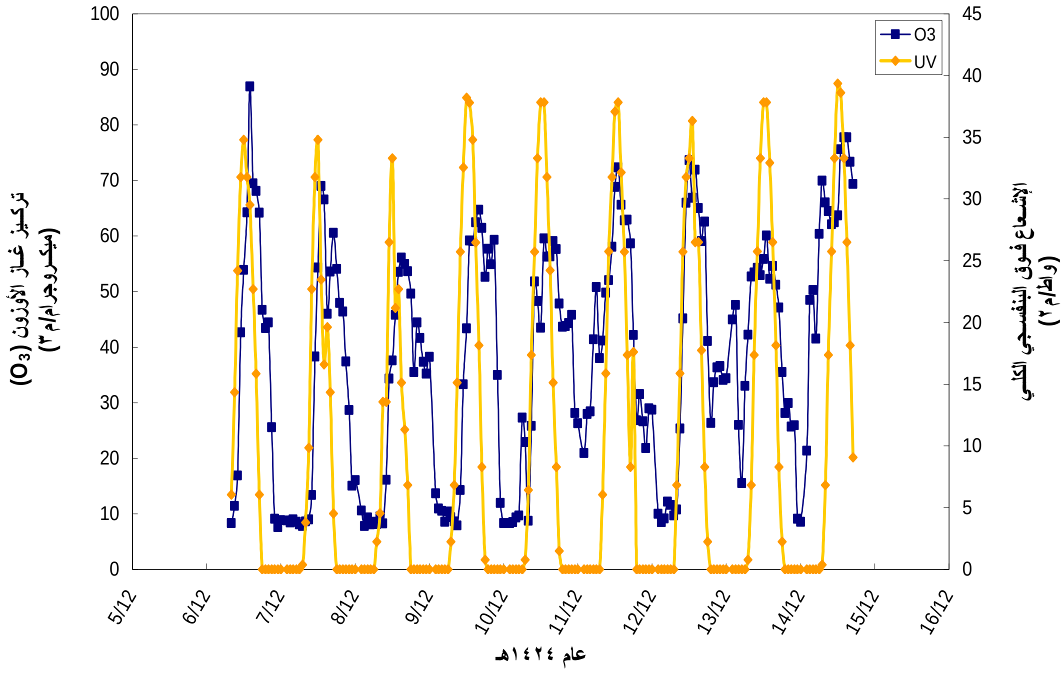
٥ ــ ٤ علاقة تغير تركيز كل من O_3 و NO_2 و NO مع الأشعة فوق البنفسجية

سبق وأن قام فريق عمل من معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج برئاسة الأستاذ الدكتور محمود نصرالله [نصرالله، وآخرون، ٢٠٠٤] خلال موسم حج عام ١٤٢٤هـ (نفس الفترة التي جرت فيها الدراسة) بإستخدام أجهزة قياس الملوثات ذو العربة المتنقلة (أنظر الفصل الثالث الأجهزة العلمية المستخدمة) لقياس كلٍ من O_3، NO_2 ، NO وغيرها في "منى" وبالقرب من منطقة جسر الجمرات والذي يقع بالقرب من

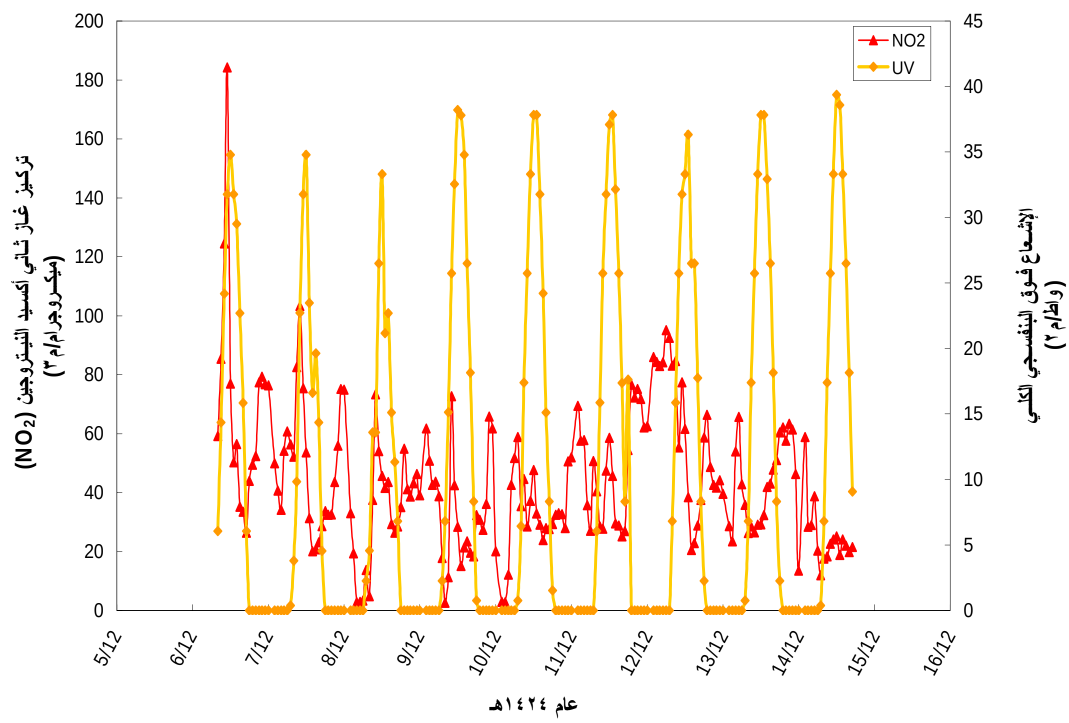
معسكر معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج (فقط ١٠٠ متر تقريبا) ، وقام الفريق بأخذ القراءات على رأس كل ساعة يوميا عدا الساعة الواحدة صباحا حيث كانت تستخدم لإعادة معايرة الأجهزة يوميا خلال الفترة الزمنية من ٣ - ١٤٢٤/١٢/١٤هـ والموافق ١/٢٥ - ٢٠٠٤/٢/٥م.

تم دراسة العلاقة بين تغير تركيز كل غاز من الغازات الثلاثة على حده مع تغير متوسط كمية الأشعة فوق البنفسجية الساقطة بيانيا بالنسبة للزمن لكل ساعة طيلة فترة الدراسة. ولسنا هنا بصدد مناقشة أسباب إرتفاع نسب تراكيز هذه الغازات وإختلاف مصادرها وتغيرها مع الزمن واثر بعض العوامل الجوية عليها مثل الرياح وغيرها أو بعض آثرها السلبية فهذا الموضوع وبشكل كبير قد تمت مناقشته بالتفصيل من قبل فريق البحث الذي ترأسة الأستاذ الدكتور محمود نصر الله في بحثه المشار إليه آنفا [نصر الله، وآخرون، ٢٠٠٤] فيمكن الرجوع إليه لمن أراد المزيد في هذا الخصوص، بيد أننا سنركز هنا على علاقة إرتفاع نسبة غازات O_3، NO_2، NO مع مقدار كمية الأشعة فوق البنفسجية الساقطة في المدى ($295 \leq \lambda \leq 385$ nm) ، فلقد أشار [نصر الله، وآخرون، ٢٠٠٤] في بحثهم إلى أن أعلى قيم لتركيز غاز الأوزون تمّ قياسها خلال فترة الدراسة من ٦ – ١٤٢٤/١٢/١٤هـ كانت في أيام السادس والسابع والتاسع والحادي عشر والثاني عشر والرابع عشر من شهر ذي الحجة، وهذا يتفق مع ما تم ملاحظته من إرتفاع كمية متوسط الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على "منى" في هذه الأيام وكذلك مع الفترة الزمنية التي يتم فيها إستخدام وسائل النقل بكثرة في المشاعر، ورغم أن يوم الثامن والثالث عشر من أيام الذروة إلا أن تركيز غاز الأوزون كان منخفضا فيه نظرا لوجود السحب الجزئية خلال تلك الأيام هذا إضافة إلى أن حركة النقل في هذين اليومين قد تكون أقل نسبيا مقارنة بغيرها من أيام الذروة، حيث أن بعض الحجاج قد يذهبون إلى "منى" للمبيت بها يوم التروية ومن ثم الذهاب إلى عرفة والبعض الآخر قد يذهب مباشرة إلى صعيد عرفات للوقوف بها وكذلك الحال بالنسبة لمن أراد أن يتأخرحتى اليوم الثالث عشر من ذي الحجة، وهذا قد يفسر جزءا من أسباب إنخفاض الغازات في هذين اليومين والله تعالى أعلم.

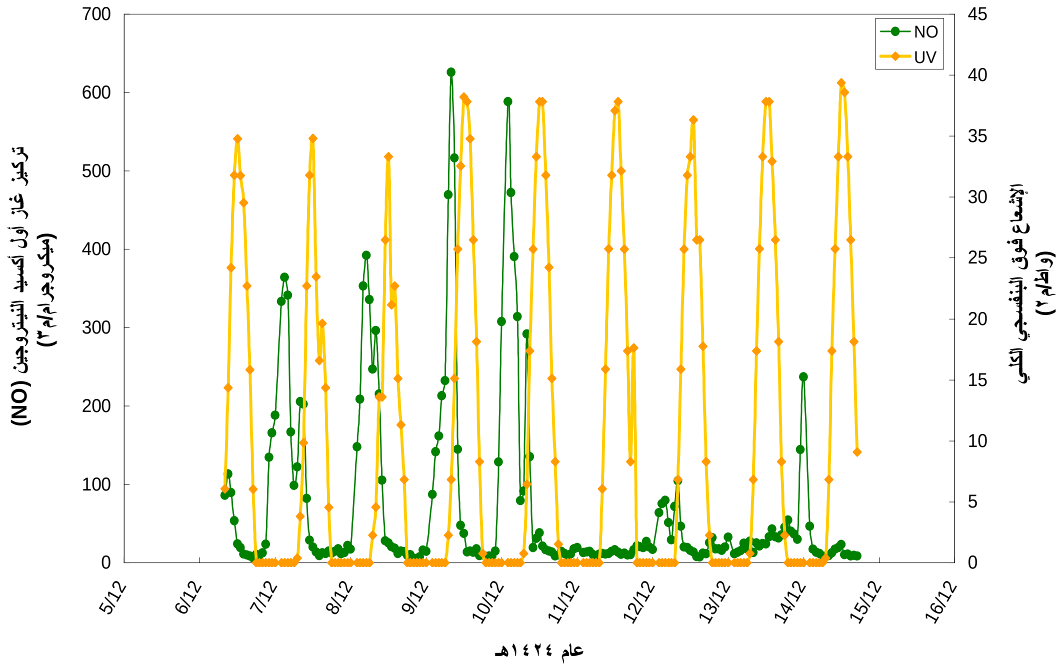
وحتى نتمكن من دراسة علاقة تغير نسبة تراكيز O_3 ، NO_2، NO مع الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على "منى" قمنا برسم هذه العلاقة بيانيا مع الزمن لغازات O_3، NO_2، NO في الأشكال التالية على الترتيب (شكل ٧ وشكل ٨ وشكل ٩). من شكل ٧ نجد أنه كلما زادت كمية أشعة الشمس فوق البنفسجة فإن مقدار تركيز غاز الأوزون يزداد تبعا لذلك ولذلك وجدنا أن أعلى قيم رصدت لغاز الأوزون من كل يوم كانت عند منتصف النهار أي عندما تكون زاوية السمت الشمسية (SZA) أصغر ما يمكن ولكن في الفترة ما قبل الظهر إلى الأشراق أوبعد الظهر إلى الغروب كان تركيز غاز الأوزون يقل بإنخفاض تركيز الأشعة فوق البنفسجية وهذا شاهدناه في معظم الأيام (أنظر شكل ٧) ومن هنا يمكن القول بأن العلاقة بين كمية أشعة الشمس فوق البنفسجية الساقطة وتركيز غاز الأوزون هي علاقة طردية، أي أن هناك توافقا في التصرف بين أشعة الشمس فوق البنفسجية الساقطة على الأرض وغاز الأوزون السطحي، وعند تطبيق التحليل الإحصائي الخطي على حالة الأوزون السطحي والأشعة فوق البنفسجية الساقطة كانت قيمة معامل التوافق تساوي تقريبا 0.8 وهذا يعني أن هناك توافقا كبيرا في السلوك بين كمية تركيز الأوزون وأشعة الشمس فوق البنفسجية وهذا يؤيد ما ذكرناه سابقا من إعتماد الأوزون السطحي على الأشعة فوق البنفسجية.



شكل ٧ علاقة تغير تركيز غاز O_3 مع تغير الأشعة فوق البنفسجية الساقطة لعام ١٤٢٤هـ



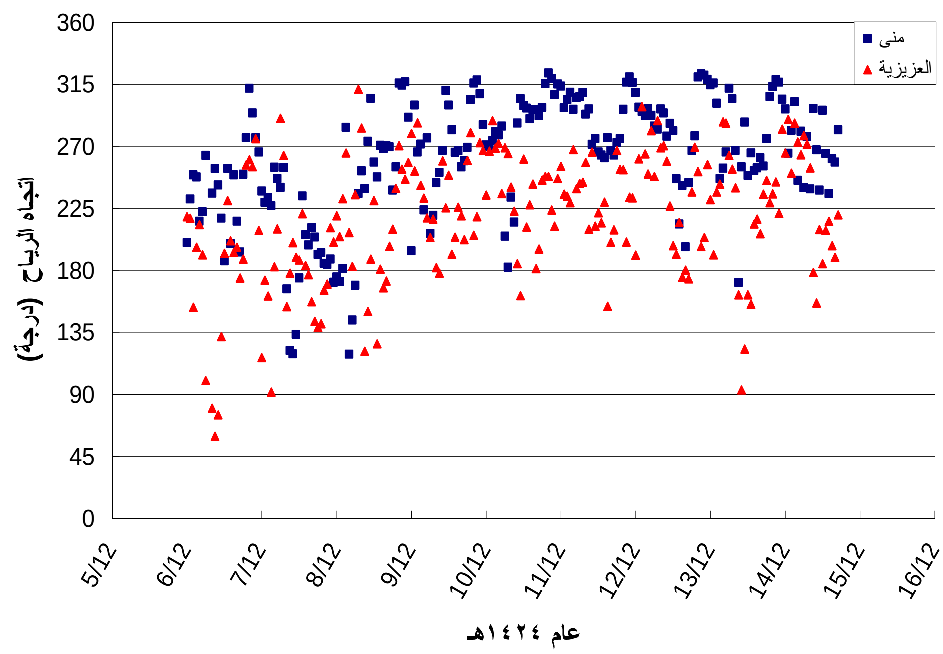
شكل ٨ علاقة تغير تركيز غاز NO_2 مع تغير الأشعة فوق البنفسجية الساقطة لعام ١٤٢٤هـ



شكل ٩ علاقة تغير تركيز غاز NO مع تغير الأشعة فوق البنفسجية الساقطة لعام ١٤٢٤هـ

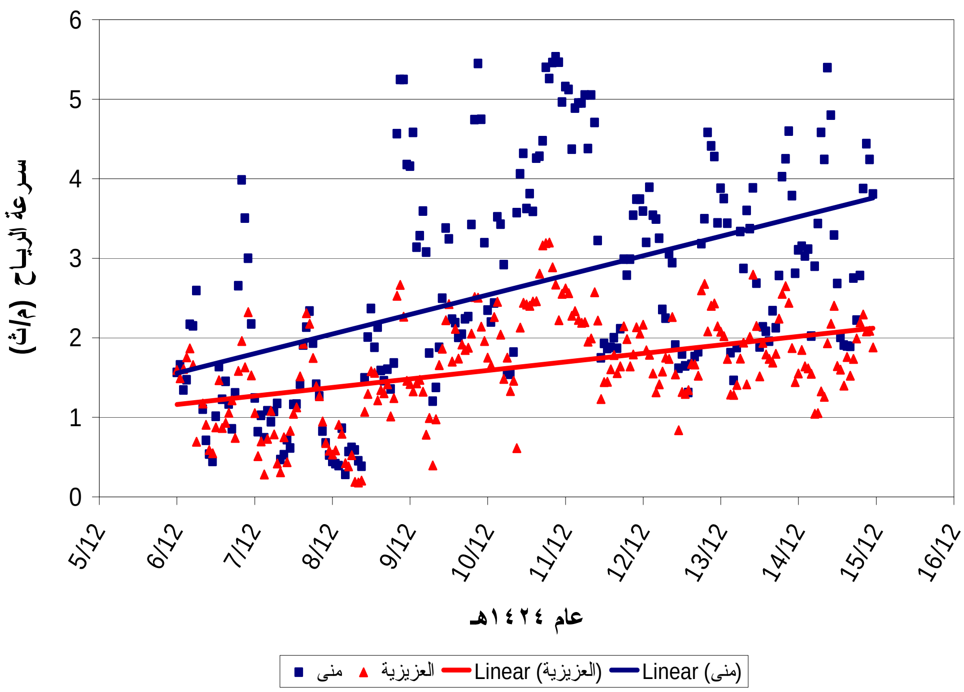
أما في حالة تركيز غاز NO_2 فإننا وجدنا سيناريو معاكسا نسبيا لما رأيناه في حالة الأوزون (أنظر شكل ٨) حيث وجدنا أنه كلما زادت أشعة الشمس فوق البنفسجية الساقطة وخاصة عند فترة الظهيرة كلما نقص مقدار تركيز غاز NO_2 أي أن العلاقة بين كمية الأشعة فوق البنفسجية الساقطة وتركيز غاز NO_2 هي علاقة عكسية ولذلك كانت قيمة معامل التوافق بين NO_2 وأشعة الشمس فوق البنفسجية تساوي 0.5 وهي قيمة صغيرة مقارنة بما لمسناه في حالة الأوزون السطحي، إن هذه القيمة تعني أن ٥٠% من تركيز NO_2 كان مضادا لأشعة الشمس فوق البنفسجية في السلوك و ٥٠% تقريبا كان موافقا والسبب في ذلك هو أن عملية التفاعل الضوء كيميائي بين الأشعة وغاز NO_2 تبدأ بفاعلية كبيرة جدا عند منتصف النهار (الساعة الثانية عشر ظهرا) أي عندما تكون الشمس قريبة من الوضع العمودي وبالتالي تزيد شدة الأشعة فوق البنفسجيةالساقطة مؤدية إلى إنحلال غاز NO_2 وبالتالي تقل نسبته وتزداد نسبة غاز الأوزون السطحي المتكون تبعا لذلك، وهذا يؤيد إحتمالية وجود مصارف أخرى لغاز NO_2، تساهم في زيادة إضمحلاله عبر تفاعلات هدم أخرى غير الإنحلال الضوء كيميائي دونما أن ينتج عنها زيادة في تركيز غاز الأوزون السطحي، وهذه النتيجة تتفق تماما مع ما ذكرناه سابقا (الفصل الرابع: النظريات العلمية المستخدمة)، وينبغي أن نشير هنا إلى أن قيمة معامل التوافق تعتمد على حالة الطقس فعندما يكون هناك سحب وغازات كثيرة وغبار فإن قيمة هذا المعامل تتأثر تبعا لذلك، فعلى سبيل المثال في اليوم الذي كانت سماؤه صافية وجدنا أن قيمة هذا المعامل كانت 0.8 في حالة الأوزون إلا أنها إنخفضت إلى قرابة 0.7 في اليوم الذي كان يحتوي على سحاب جزئي، أما في حالة NO_2 فقد رأينا سلوكا مغايرا حيث إرتفع معامل التوافق إلى 0.8 في اليوم الغائم جزئيا مقارنة بما كان عليه في اليوم الذي سماؤه صافية (R^2 = 0.5).

هذا بالإضافة إلى إحتمالية إرتفاع تركيز غاز الأوزون السطحي في بعض الأيام في منى عن طريق إنتقاله إليها عبر الرياح من المناطق المجاورة لها مثل منطقة العزيزية والتي تقع في الجنوب الغربي لمنطقة منى ولدراسة أثر إتجاه وسرعة الرياح على تركيز غاز الأوزون السطحي بمنى تم الحصول على هذه القياسات من محطات رصد عناصر المناخ الخاصة بالمعهد في كل من منى والعزيزية (حبيب الله، ١٤٢٤هـ) حيث وجدنا أن منطقة العزيزية والتي تمثل أحد أحياء مكة المكرمة المزدحمة جدا بحافلات نقل الحجيج طيلة فترة موسم الحج نظرا لقربها من منطقة منى، كانت تسودها رياح جنوبية غربية تنحصر في الإتجاه بين ١٨٠ – ٢٧٠ درجة (شكل ١٠) أي أنها تهب من الناحية الجنوبية الغربية وتتجه صوب الجهة الشمالية الشرقية حيث منى وهذا يؤكده إتجاه الرياح السائدة على منطقة منى والتي كان جزءا كبيرا منها يهب من جهة الجنوب الغربي كذلك (شكل ١٠) أي من جهة منطقة العزيزية فإذا أخذنا إتجاه هذه الرياح في الإعتبار فمن المحتمل أن غاز الأوزون قد انتقل من منطقة العزيزية إلى منطقة منى عبر هذه الرياح الجنوبية الغربية مسببا زيادة غاز الأوزون السطحي في منى أو بطريقة أخرى قد يكون تم إنتقال بعض الغازات الأولية مثل أكاسيد النيتروجين (NO_2 , NO) ، والتي تلاها عدد من التفاعلات الضوء كيميائية المؤدية إلى إنتاج غاز الأوزون أثناء عملية الإنتقال من العزيزية إلى منى مما أدى إلى رفع تركيز غاز الأوزون السطحي في منى، كما لوحظ أن الرياح كانت كذلك تهب على منطقة منى من الجهة الجنوبية والجنوبية الشرقية أي من جهة منطقة مزدلفة خاصة في الفترة من العاشر وحتى الرابع عشر من ذي الحجة وهذا من المحتمل أن يكون أدى إلى نقل غاز الأوزون أو بعض الغازات الأولية المؤدية إلى إنتاج غاز الأوزون، من منطقة مزدلفة إلى منى خاصة يومي التاسع والعاشر من ذي الحجة عندما كانت مزدلفة مزدحمة بوسائل نقل الحجاج.



شكل ١٠ إتجاه الرياح السائدة على كلٍ من منطقتي منى والعزيزية في الفترة من ٦-١٤/١٢/١٤٢٤هـ

أما عن سرعة الرياح السائدة التي تمَ رصدها على منطقة منى خلال فترة الدراسة فقد وجد أن سرعتها كانت تتراوح تقريبا بين ١ - ٥ م/ث (شكل ١١) وبمتوسط يقدر بحوالي ٢,٥م/ث، في حين كانت سرعة الرياح السائدة على منطقة العزيزية تتراوح بين ٠,٥ - ٣ م/ث (شكل ١١) وبمتوسط قدره حوالي ١,٦ م/ث، وبإمعان النظر في شكل ١١ نجد أن سرعة الرياح السائدة على كلٍ من منطقتي منى والعزيزية كانت في ازدياد طيلة فترة الموسم (أنظر ميل المحور التصاعدي في سرعة الرياح على كلا المنطقتين) ولذلك لاحظنا أن سرعة الرياح في الأيام الثلاثة الأولى من القياسات (من السادس وحتى نهاية يوم الثامن من ذي الحجة) كانت بشكل عام أقل منها (٠,٥ – ٢ م/ث) في تلك التي رصدت في بقية أيام الدراسة (الأيام من التاسع وحتى الرابع عشر من ذي الحجة) ، وهذا الإنخفاض في سرعة الرياح في هذه الأيام الثلاثة الأول من شأنه أن يعطي فرصة أكبر لتحويل الغازات الأولية (أكاسيد النيتروجين) عبر سلسلة التفاعلات الضوء كيميائية، إلى غاز الأوزون أثناء إنتقالها إلى منى وهذ قد يفسر جزئيا سبب قيم التركيزات العالية التي تم رصدها لغازي الأوزون السطحي وثاني أكسيد النيتروجين في يومي السادس والسابع من ذي الحجة (أنظر شكل ٧ و شكل ٨) رغم ضعف حركة حافلات الحجيج في هذين اليومين في منى وكذلك رغم وجود بعض السحب الجزئية القليلة في اليوم السابع.



شكل ١١ سرعة الرياح السائدة على كلٍ من منطقتي منى والعزيزية في الفترة من ٦-١٤/١٢/١٤٢٤هـ

من جهة أخرى كان من المتوقع أن نلاحظ إنخفاضا نسبيا في تركيز غاز الأوزون السطحي على منى في الأيام من التاسع وحتى الرابع عشرمن ذي الحجة نتيجة الإرتفاع النسبي في سرعة الرياح (٢ – ٥ م/ث) في هذه الأيام والتي يمكن أن تساهم في نقل غاز الأوزون من منى إلى الجهات الشمالية الشرقية نتيجة الرياح الجنوبية الغربية، بيد أن هذا الأمر لم يقع بل سجلت قيم عالية نسبيا لغاز الأوزون في هذه الأيام

خاصة في أيام الحادي عشر والثاني عشر والرابع عشر وهذا يمكن إيعازه إلى زيادة شدة الأشعة فوق البنفسجية الساقطة في هذه الأيام والتي كان معظم سمائها صافية، ومن هنا يتضح لنا مدى تداخل هذه العوامل البيئية والجوية وتفاعلها مع بعضها البعض الأمر الذي يتطلب تحقيقا وتدقيقا سليمين لمعرفة هذه التأثيرات المتبادلة على البيئة.

أما بالنسبة لغاز أول أكسيد النيتروجين، NO، فقد وجدنا نمطا آخر تماما (أنظر شكل ٩)، حيث أنه ربما كان من المتوقع أن ترتفع نسبة تركيزه في فترة النهار نتيجة لإنحلال غاز NO_2 بواسطة أشعة الشمس فوق البنفسجية إلى غاز NO حسب التفاعل رقم (٣) ، ولكن هذا الأمر لم يحدث أبدا بل على العكس منه وجدنا أن أعلى قيم سجلت لتركيز غاز NO كانت أثناء الليل أو عند الشروق تقريبا (قبل الساعة السابعة صباحا) رغم عدم وجود الأشعة فوق البنفسجية وقلة حركة المركبات في هذه الأوقات مقارنة بالنهار وقد يكون سبب ذلك هو ما يعرف بظاهرة الإنقلاب (Inversion) حيث أن درجة حرارة الهواء في هذه الأوقات تزداد باتجاه سطح الأرض مما يجعل هذه الملوثات (الناتج أغلبها من العربات في النهار) تهبط إلى سطح الأرض أثناء الليل وعند الساعات المبكرة من الصباح وبالتالي يزداد تركيزها قرب سطح الأرض.

أما سبب عدم زيادة تركيز غاز NO أثناء فترة النهار رغم إنحلال غاز NO_2 هو ما ذكرناه من وجود دائرة التفاعل الكيميائي المغلق غير المحتوي على أي ناتج كيميائي (**closing chemical cycle**) التي أشرنا لها سابقا (أنظر الفصل الرابع: النظريات العلمية المستخدمة) وبالتالي فإن إعتماد تركيز غاز NO على الأشعة فوق البنفسجية هو إعتماد ضعيف جدا وقد لا يذكر ولذلك وجدنا أن معامل التوافق بين مقدار تركيز غاز NO وأشعة الشمس فوق البنفسجية الساقطة يساوي 0.07 أي صغير جدا بل يكاد يكون مهملا وهذا يؤكد أن معظم مصادر غاز NO هو إحتراق الوقود الناجم من عوادم عربات النقل الموجودة في "منى" وغيره من التفاعلات الكيميائية بين الغازات التي ليس هذا مجال ذكرها وهذا يؤيد ما ورد في بعض الدراسات السابقة [Lee *et al*., 1997] من أن قرابة ٤٠% من الغازات الناجمة عن إحتراق الوقود هي على شكل NO في حين أن أقل من ١٠% منها يكون على شكل NO_2.

أما عن مستوى تركيز هذه الغازات الأولية (NO_2 ، NO) فقد تراوحت تراكيز غاز أول أكسيد النيتروجين في المدى ٥ – ٦٢٥ ميكروجرام/م٣ (أنظر شكل ٩) وعلى حسب علمي أن منظمة الصحة العالمية لم تضع أو تذكر أضرارا صحية محددة نتيجة التعرض لغاز أكسيد النيتريك عند تراكيزه الموجودة في المدن، في حين أنها أشارت إلى أن التركيز المسموح بها من غاز ثاني أكسيد النيتروجين هي ٤٠٠ ميكروجرام/م٣ لمدة ساعة واحدة أو ١٥٠ ميكروجرام/م٣ لمدة ثمان ساعات (WHO, 1987) وهذا الغازيمكن أن يسبب التهابات للشعب الهوائية وبالتالي يقلل من كفاءة عمل الرئتين وقد أوضحت بعض الدراسات أن التعرض لهذا الغاز في تركيزات تصل إلى حدود ٥٧٠ ميكروجرام/م٣ (0.30 ppm) لمدة ٣٠ دقيقة يمكن أن يؤثر على الجهاز التنفسي (Bauer *et al*., 1984, WHO, 1987) ، ومن فضل الله عزوجل أن تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين في منى كان ضمن الحدود الآمنه الموصى بها في منظمة الصحة العالمية حيث بلغت أعلى تركيزاته في منى أقل من نصف الحدود الآمنة المسموح بها (١٨٥ ميكروجرام/م٣ خلال الساعة الواحدة).

أما عن درجة الحرارة التي تم رصدها على رأس كل ساعة طيلة فترة الدراسة فكانت تتروح بين ١٥ – ٣٠ درجة مئوية وهي درجات حرارة منخفض نسبيا بالنسبة لمكة المكرمة وذلك لحلول موسم الحج في فصل الشتاء خلال هذا العام (١٤٢٤هـ) ، في حين قد تصل درجة الحرارة إلى أكثر من ٥٠ درجة مئوية في فصل الصيف أو أكثر الأمر الذي قد يكون فيه مشقة على الحجيج أثناء أداء نسكهم، وأما عن أثر درجة الحرارة على تركيز غاز الأوزون فحسب علمي أنه لا توجد علاقة فعلية بين درجة الحرارة وكلٍ من تركيز غاز الأوزون السطحي أو الأشعة فوق البنفسجية، ولكن ارتفاع درجة الحرارة قد يساعد على زيادة الناتج الكمي لذرة الأكسجين ذات الحالة المثارة النشطة ($O(^1D)$, an energetically excited state of O) في المدى الموجي التالي (312 - 324 nm) [Smith *et al*., 2000] وذرة الأكسجين المثارة هذه تنتج عن انحلال غاز الأوزون بسبب الأشعة فوق البنفسجية أثناء النهار وهذا موضوع خارج عن أهداف هذه الدراسة لذا يكتفى بهذا القدر منه.

الفصل السادس

٦ الخاتمة والتوصيات

هذا البحث ناقش علاقة تغير الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على "منى" مع كلٍ من تغير زاوية السمت الشمسية وتغير أحوال الطقس وكيف أن وجود السحب كان له دورا فاعلا في خفض كمية الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على "منى" حيث إنخفضت إلى حوالي ٣٣ واط/م٢ بعدما وصلت إلى ٣٩ واط/م٢ في الأيام التي كانت سماؤها صافية، كما عرج البحث على دراسة تغير هذه الأشعة مع تغير تراكيز بعض الغازات المنبعثة من وسائل النقل أوالناتجة عن التفاعلات الضوء كيميائية وعلى الأخص غاز الأوزون السطحي ووجدنا أن هناك توافقا كبير في السلوك (0.8) بين زيادة تركيز غاز الأوزون، O_3، وأشعة الشمس فوق البنفسجية، في حين إنخفضت هذه القيمة إلى حوالي (0.5) في حالة غازثاني أكسيد النيتروجين، NO_2، وهذا يؤيد العلاقة العكسية بين أشعة الشمس فوق البنفسجية وتركيز غاز NO_2، أما في حالة أول أكسيد النيتروجين فلم يكن هنالك ثمت اعتمادا على الأشعة فوق البنفسجية الساقطة وهو ما يؤكد وجود مصادر أخرى لغاز NO غير أشعة الشمس مثل إحتراق الوقود الناجم من عوادم عربات النقل الموجودة في "منى" وغيرها من التفاعلات الكيميائية. وحتى نُكوّن نظرة شاملة ومستقبلية لمستوى الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على مكة وعلاقة تغيرها بتغير تركيز بعض الغازات السطحية مثل غاز الأوزون السطحي وكذلك بمكونات الغلاف الجوي، فلا بد من عمل برنامج متكامل لرصد هذه الأشعة والغازات وعمود الأوزون وكميات السحب على مدار السنة وهذا ما يأمل الباحثين إنجازه في المستقبل بعون الله تعالى.

ومن هنا خلصنا إلى أهم التوصيات التالية:

- عمل دراسة موسعة لكافة العوامل المؤثرة في تلوث الهواء مثل الملوثات الأولية ومصادرها، الأشعة فوق البنفسجية، التوزيع الجغرافي والزماني والمناخي وفصول السنة المختلفة، وعلاقاتها ببعضها البعض وفي مناطق مختلفة مثل منى وعرفات ومنطقة المسجد الحرام
- عمل برنامج خاص برصد مقدار الأشعة فوق البنفسجية الساقطة على مكة والمشاعر على مدار السنة وعلاقة ذلك بالأوزون السطحي والغازات الأخرى وتأثُرها بمكونات الغلاف الجوي مثل عمود الأوزون والسحب وغيرها ومدى حدوث الأضرار الصحية مثل الحرق الجلدي للحجاج.
- دراسة ألوان الملابس والإحرامات والمظلات الشمسية والنظارات الشمسية وأثرها في تقليل التعرض للأشعة فوق البنفسجية، وأهمية ذلك في تطوير سبل الوقاية للحجاج والمعتمرين.
- من تحليل نتائج رصد الأشعة فوق البنفسجية وجد أن حوالي ٧٠% من الأشعة فوق البنفسجية خلال اليوم الواحد تنبعث من الساعة العاشرة صباحا وحتى الساعة الثالثة ظهرا وهي نفس الفترة التي قد تحدث فيها إصابات بضربات الشمس ولذلك يوصى الحجيج بتقليل الحركة تحت الشمس في هذه الفترة الزمنية .

المراجع الإنجليزية

Abdel Salam, M., Hamed, A., Naser Allah, M., and Jad Allah, M. (1399L): A Follow-Up Study on the Atmospheric Quality in Muna During the Hajj Season of 1399L. Hajj Research Centre, King Abdulaziz University.

Bates, D. (1995): Ozone: A review of recent experimental, clinical and epidemiological evidence, with notes on causation. Can Respir J.

Bauer, A.M. *et al* (1984): 0.30 ppm nitrogen dioxide inhalation potentates exercis-induced broncho-spasm in as thmatics. American review of respiratory disease, 129 P. 151.

Bordewijk, J., Slaper, H., Reinen, H., and Schlamann, E. (1995): Total solar radiation and the influence of clouds and aerosols on the biologically effective UV. Geophys. Res. Lett., 22: 2151-2154.

Carpenter, L. J., Monks, P. S., Bandy, B. J., Penkett, S. A., Galbally, I. E., and Meyer, C. P. (1997): A study of peroxy radicals and ozone photochemistry at coastal sites in the northern and southern hemispheres. J. Geophys. Res., 102: 25417-25427.

Farman, J., Gardiner, B., and Shanklin, J. (1985): Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal CLOX/NOX interaction. Nature, 315: 207-210.

Fishman, J., Fukhruzjasman, K., Cros, B., and Nganga, D. (1991): Identification of widespread pollution in the southern hemisphere deduced from satellites analyses. Science, 252: 1693-1696.

Fowler, D., Coyle, M., Anderson, R., Ashmore, M., Bower, J., Burgess, R., Cap, J., Cox, R., Derwent, P., Dollard, G., Grennfelt, P., Harrison, R., Hewitt, C., Hov, Q., Jenkin, M., Lee, D., Maynard, R., Penkett, S., Smith, R., Stedman, J., Weston, K., Williams, M., and Woods, P. (1997): “Ozone in the United Kingdom”Fourth Report of the Photochemical Oxidants Review Group.

Kleinman, L. I., Daum, P. H., Imre, D., Lee, Y. N., Nunnermacker, L. J., Springston, S. R., Weinstein-Lloyd, J., and Rudolph, J. (2002): Ozone production rate and hydrocarbon reactivity in 5 urban areas: A cause of high ozone concentration in Houston. Geophys. Res. Lett., 29: art. No. 1467

Lee, D. S., Kohler, I., Grobler, E., Rohrer, F., Sausen, R., GallardoKlenner, L., Olivier, J. G. J., Dentener, F. J., and Bouwman, A. F. (1997): Estimations of global NO_x emissions and their uncertainties. Atmos. Environ., 31: 1735-1749.

Madronich, S. (1993): The atmosphere and UVB radiation at ground level. In “Environmental UV Photobiology” (A. R. Young and e. al, eds.), pp. 1-39. Plenum Press, New York.

NRPB (2002): “Vitamin D, in, Health effects from ultraviolet radiation” Report of an Advisory Group on Non-ionising Radiation, Volume 13, and No.1.

National Radiological Protection Board (NRPB), Chilton, Didcot, Oxfordshire OX11 0RQ. 207-217. www.nrpb.org

Ponce de Leon, A., Anderson, H., Bland, J., Strachan, D., and Bower, J. (1996): The effects of air pollution on daily hospital admissions for respiratory disease in London: 1987-88 to 1991-92. Journal of Epidemiology and Community Health, 50: S63-S70.

Schafer, J., Saxena, V., Wenny, B., Barnard, W., and Deluisi, J. (1996): Observed influence of clouds on ultraviolet-B radiation. Geophys. Res. Lett, 23: 2625-2628.

Smith, G. D., Molina, L. T., and Molina, M. J. (2000): Temperature dependence of $O(^1D)$ quantum yields from the photolysis of ozone between 295 and 338 nm. J. Phys. chem. a, 104: 8916-8921.

The Eppley Laboratory Inc, (2004): Personal communication.

Webb, A., Gardiner, B., Driscoll, C., Austin, J., Arlett, C., Raven, J., Lowe, D., Paul, N., McCleod, A., Diffy, B., Young, A., Hillerton, J., Gardiner, D., Bentham, G., and Bramwwell, P. (1996): “The potential effects of ozone depletion in the United Kingdom”. The Stationery Office, London.

WHO (1987) Air Quality Guidelines for Europe, World Health Organization, Regional Publication, European Office Series No. 23, Copenhagen.

WHO (1995): Update and Revision of the Air Quality Guidelines for Europe: Meeting of the Working Group “Classical Air Pollutants” World Health Organization (WHO). EUR/ICP/EHAZ 94 05/PB01. Bilthoven, The Netherlands. 11-14 October 1994. Scherfigsvej 8, DK-2100 Copenhagen, Denmark.

WHO (1998): “Global solar UV index” World Health Organization (WHO). Revised fact sheet Rep. No. 133.http://www.who.int/inffs/enefact227.html.

المراجع العربية

حبيب الله، ت. (١٤٢٤هـ): إتصال شخصي.

نصر الله، م. (٢٠٠١م): الطرق القياسية لرصد ملوثات الهواء ومعالجة النتائج. منظمة الرصد العالمي، المكتب الإقليمي لشرق المتوسط، القاهرة، مصر.

نصر الله، م. ، برقاوي، أ. ، عبدالكريم، س. ، الجيلاني، هـ. (١٤٢٤هـ): التقرير الأول عن برنامج تعرض الحجاج والمعتمرين لملوثات الهواء بمكة المكرمة والمشاعر المقدسة. معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج، جامعة أم القرى، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية.

قائمة الأشكال

ملحق ١

{CR10X}؛

؛

Table 1 Program*

٠١: ٦٠ Execution Interval (seconds)

١: Batt Voltage (P10)

١: ١ Loc [Battary]

٢: Internal Temperature (P17)

١: ٢ Loc [Int_temp]

٣: Volt (Diff) (P2)

١: ١ Reps

٢: ٢٥ mV 60 Hz Rejection Range ٢٥٠٠

٣: ١ DIFF Channel

٤: ٣ Loc [UV_1]

٥: ٤,٦٠٨ Mult

٦: ٠,٠ Offset

٤: Volt (Diff) (P2)

١: ١ Reps

٢: ٢٥ mV 60 Hz Rejection Range ٢٥٠٠

٣: ٢ DIFF Channel

٤: ٤ Loc [UV_2]

٥: ٨,٩٢٨ Mult

٦: ٠,٠ Offset

٥: If time is (P92)

١: ٠ Minutes (Seconds --) into a

٢: ١٠ Interval (same units as above)

Set Output Flag High (Flag 0) ١٠ :٣

Set Active Storage Area (P80)^21052 :٦
Final Storage Area 1 ١ :١
Array ID ١٠٠ :٢

Real Time (P77)^11954 :٧
Year,Day,Hour/Minute (midnight = 2400) ١٢٢٠ :١

Sample (P70)^8992 :٨
Reps ١ :١
Loc [UV_1] ٣ :٢

Sample (P70)^23828 :٩
Reps ١ :١
Loc [UV_2] ٤ :٢

If Flag/Port (P91) :١٠
Do if Output Flag is High (Flag 0) ١٠ :١
Then Do ٣٠ :٢

Signature (P19) :١١
Loc [Sig] ٥ :١

End (P95) :١٢
Serial Out (P96) :١٣
Storage Module ٧١ :١
Table 2 Program*
Execution Interval (seconds) ٠,٠٠٠٠ :٠٢

Table 3 Subroutines*
End Program

ملحق ٢

جدول بقياسات الأشعة فوق البنفسجيةعلى رأس كل ساعة خلال موسم حج ١٤٢٤هـ

Date	UV1	UV2	UV
6/12/1424 02:00	0.00	0.00	0.00
6/12/1424 03:00	0.00	0.00	0.00
6/12/1424 04:00	0.00	0.00	0.00
6/12/1424 05:00	0.00	0.00	0.00
6/12/1424 06:00	0.00	0.00	0.00
6/12/1424 07:00	0.00	0.00	0.00
6/12/1424 08:00	6.15	5.96	6.05
6/12/1424 09:00	13.83	14.89	14.36
6/12/1424 10:00	24.58	23.81	24.20
6/12/1424 11:00	33.79	29.76	31.78
6/12/1424 12:00	36.85	32.73	34.79
6/12/1424 13:00	33.78	29.75	31.77
6/12/1424 14:00	32.25	26.78	29.52
6/12/1424 15:00	24.57	20.83	22.70
6/12/1424 16:00	13.82	17.85	15.84
6/12/1424 17:00	6.14	5.95	6.05
6/12/1424 18:00	0.00	0.00	0.00
6/12/1424 19:00	0.00	0.00	0.00
6/12/1424 20:00	0.00	0.00	0.00
6/12/1424 21:00	0.00	0.00	0.00
6/12/1424 22:00	0.00	0.00	0.00
6/12/1424 23:00	0.00	0.00	0.00
7/12/1424 01:00	0.00	0.00	0.00
7/12/1424 02:00	0.00	0.00	0.00
7/12/1424 03:00	0.00	0.00	0.00

7/12/1424 04:00	0.00	0.00	0.00
7/12/1424 05:00	0.00	0.00	0.00
7/12/1424 06:00	0.00	0.00	0.00
7/12/1424 07:00	0.77	0.00	0.38
7/12/1424 08:00	4.61	2.98	3.79
7/12/1424 09:00	10.76	8.93	9.85
7/12/1424 10:00	24.58	20.83	22.71
7/12/1424 11:00	33.79	29.76	31.78
7/12/1424 12:00	36.86	32.73	34.80
7/12/1424 13:00	26.10	20.83	23.47
7/12/1424 14:00	15.35	17.85	16.60
7/12/1424 15:00	18.43	20.83	19.63
7/12/1424 16:00	13.82	14.88	14.35
7/12/1424 17:00	4.61	4.46	4.54
7/12/1424 18:00	0.00	0.00	0.00
7/12/1424 19:00	0.00	0.00	0.00
7/12/1424 20:00	0.00	0.00	0.00
7/12/1424 21:00	0.00	0.00	0.00
7/12/1424 22:00	0.00	0.00	0.00
7/12/1424 23:00	0.00	0.00	0.00
8/12/1424 01:00	0.00	0.00	0.00
8/12/1424 02:00	0.00	0.00	0.00
8/12/1424 03:00	0.00	0.00	0.00
8/12/1424 04:00	0.00	0.00	0.00
8/12/1424 05:00	0.00	0.00	0.00
8/12/1424 06:00	0.00	0.00	0.00
8/12/1424 07:00	1.54	2.98	2.26
8/12/1424 08:00	6.15	2.98	4.56
8/12/1424 09:00	12.29	14.88	13.59
8/12/1424 10:00	12.29	14.88	13.59
8/12/1424 11:00	29.18	23.81	26.50

8/12/1424 12:00	36.86	29.76	33.31
8/12/1424 13:00	21.50	20.83	21.17
8/12/1424 14:00	24.57	20.83	22.70
8/12/1424 15:00	15.36	14.88	15.12
8/12/1424 16:00	10.75	11.90	11.33
8/12/1424 17:00	7.68	5.95	6.82
8/12/1424 18:00	0.00	0.00	0.00
8/12/1424 19:00	0.00	0.00	0.00
8/12/1424 20:00	0.00	0.00	0.00
8/12/1424 21:00	0.00	0.00	0.00
8/12/1424 22:00	0.00	0.00	0.00
8/12/1424 23:00	0.00	0.00	0.00
9/12/1424 01:00	0.00	0.00	0.00
9/12/1424 02:00	0.00	0.00	0.00
9/12/1424 03:00	0.00	0.00	0.00
9/12/1424 04:00	0.00	0.00	0.00
9/12/1424 05:00	0.00	0.00	0.00
9/12/1424 06:00	0.00	0.00	0.00
9/12/1424 07:00	1.54	2.98	2.26
9/12/1424 08:00	7.68	5.95	6.82
9/12/1424 09:00	15.37	14.88	15.13
9/12/1424 10:00	27.65	23.81	25.73
9/12/1424 11:00	35.33	29.76	32.55
9/12/1424 12:00	40.70	35.71	38.21
9/12/1424 13:00	39.92	35.70	37.81
9/12/1424 14:00	36.85	32.73	34.79
9/12/1424 15:00	29.17	23.80	26.49
9/12/1424 16:00	18.43	17.85	18.14
9/12/1424 17:00	7.68	8.93	8.31
9/12/1424 18:00	1.54	0.00	0.77
9/12/1424 19:00	0.00	0.00	0.00

9/12/1424 20:00	0.00	0.00	0.00
9/12/1424 21:00	0.00	0.00	0.00
9/12/1424 22:00	0.00	0.00	0.00
9/12/1424 23:00	0.00	0.00	0.00
10/12/1424 01:00	0.00	0.00	0.00
10/12/1424 02:00	0.00	0.00	0.00
10/12/1424 03:00	0.00	0.00	0.00
10/12/1424 04:00	0.00	0.00	0.00
10/12/1424 05:00	0.00	0.00	0.00
10/12/1424 06:00	0.00	0.00	0.00
10/12/1424 07:00	1.54	0.00	0.77
10/12/1424 08:00	6.91	5.95	6.43
10/12/1424 09:00	16.90	17.86	17.38
10/12/1424 10:00	27.65	23.81	25.73
10/12/1424 11:00	36.86	29.76	33.31
10/12/1424 12:00	39.94	35.71	37.83
10/12/1424 13:00	39.93	35.71	37.82
10/12/1424 14:00	33.79	29.76	31.78
10/12/1424 15:00	26.11	22.32	24.22
10/12/1424 16:00	15.36	14.88	15.12
10/12/1424 17:00	7.68	8.93	8.31
10/12/1424 18:00	1.54	1.49	1.51
10/12/1424 19:00	0.00	0.00	0.00
10/12/1424 20:00	0.00	0.00	0.00
10/12/1424 21:00	0.00	0.00	0.00
10/12/1424 22:00	0.00	0.00	0.00
10/12/1424 23:00	0.00	0.00	0.00
11/12/1424 01:00	0.00	0.00	0.00
11/12/1424 02:00	0.00	0.00	0.00
11/12/1424 03:00	0.00	0.00	0.00
11/12/1424 04:00	0.00	0.00	0.00

11/12/1424 05:00	0.00	0.00	0.00
11/12/1424 06:00	0.00	0.00	0.00
11/12/1424 07:00	0.00	0.00	0.00
11/12/1424 08:00	6.15	5.96	6.05
11/12/1424 09:00	15.37	16.37	15.87
11/12/1424 10:00	27.66	23.82	25.74
11/12/1424 11:00	33.79	29.76	31.78
11/12/1424 12:00	39.94	34.22	37.08
11/12/1424 13:00	39.93	35.71	37.82
11/12/1424 14:00	34.55	29.75	32.15
11/12/1424 15:00	27.64	23.80	25.72
11/12/1424 16:00	16.89	17.85	17.37
11/12/1424 17:00	7.68	8.93	8.31
11/12/1424 18:00	32.26	2.98	17.62
11/12/1424 19:00	0.00	0.00	0.00
11/12/1424 20:00	0.00	0.00	0.00
11/12/1424 21:00	0.00	0.00	0.00
11/12/1424 22:00	0.00	0.00	0.00
11/12/1424 23:00	0.00	0.00	0.00
12/12/1424 01:00	0.00	0.00	0.00
12/12/1424 02:00	0.00	0.00	0.00
12/12/1424 03:00	0.00	0.00	0.00
12/12/1424 04:00	0.00	0.00	0.00
12/12/1424 05:00	0.00	0.00	0.00
12/12/1424 06:00	0.00	0.00	0.00
12/12/1424 07:00	0.00	0.00	0.00
12/12/1424 08:00	7.68	5.95	6.82
12/12/1424 09:00	15.37	16.37	15.87
12/12/1424 10:00	27.65	23.81	25.73
12/12/1424 11:00	33.79	29.76	31.78
12/12/1424 12:00	36.86	29.76	33.31

12/12/1424 13:00	39.93	32.73	36.33
12/12/1424 14:00	29.18	23.80	26.49
12/12/1424 15:00	29.18	23.80	26.49
12/12/1424 16:00	17.66	17.85	17.76
12/12/1424 17:00	7.68	8.93	8.31
12/12/1424 18:00	1.54	2.98	2.26
12/12/1424 19:00	0.00	0.00	0.00
12/12/1424 20:00	0.00	0.00	0.00
12/12/1424 21:00	0.00	0.00	0.00
12/12/1424 22:00	0.00	0.00	0.00
12/12/1424 23:00	0.00	0.00	0.00
13/12/1424 01:00	0.00	0.00	0.00
13/12/1424 02:00	0.00	0.00	0.00
13/12/1424 03:00	0.00	0.00	0.00
13/12/1424 04:00	0.00	0.00	0.00
13/12/1424 05:00	0.00	0.00	0.00
13/12/1424 06:00	0.00	0.00	0.00
13/12/1424 07:00	1.54	0.00	0.77
13/12/1424 08:00	7.68	5.96	6.82
13/12/1424 09:00	16.90	17.86	17.38
13/12/1424 10:00	27.66	23.82	25.74
13/12/1424 11:00	36.86	29.76	33.31
13/12/1424 12:00	39.94	35.71	37.83
13/12/1424 13:00	39.94	35.71	37.83
13/12/1424 14:00	36.09	29.76	32.93
13/12/1424 15:00	29.18	23.80	26.49
13/12/1424 16:00	18.43	17.86	18.15
13/12/1424 17:00	7.68	8.93	8.31
13/12/1424 18:00	1.54	2.98	2.26
13/12/1424 19:00	0.00	0.00	0.00
13/12/1424 20:00	0.00	0.00	0.00

13/12/1424 21:00	0.00	0.00	0.00
13/12/1424 22:00	0.00	0.00	0.00
13/12/1424 23:00	0.00	0.00	0.00
14/12/1424 01:00	0.00	0.00	0.00
14/12/1424 02:00	0.00	0.00	0.00
14/12/1424 03:00	0.00	0.00	0.00
14/12/1424 04:00	0.00	0.00	0.00
14/12/1424 05:00	0.00	0.00	0.00
14/12/1424 06:00	0.00	0.00	0.00
14/12/1424 07:00	0.77	0.00	0.38
14/12/1424 08:00	7.68	5.96	6.82
14/12/1424 09:00	16.90	17.86	17.38
14/12/1424 10:00	27.66	23.82	25.74
14/12/1424 11:00	36.86	29.76	33.31
14/12/1424 12:00	43.01	35.71	39.36
14/12/1424 13:00	41.47	35.71	38.59
14/12/1424 14:00	36.86	29.76	33.31
14/12/1424 15:00	29.18	23.81	26.50
14/12/1424 16:00	18.43	17.86	18.15
14/12/1424 17:00	9.22	8.93	9.08
14/12/1424 18:00	1.54	2.98	2.26
14/12/1424 19:00	0.00	0.00	0.00
14/12/1424 20:00	0.00	0.00	0.00
14/12/1424 21:00	0.00	0.00	0.00
14/12/1424 22:00	0.00	0.00	0.00
14/12/1424 23:00	0.00	0.00	0.00
15/12/1424 01:00	0.00	0.00	0.00
15/12/1424 02:00	0.00	0.00	0.00
15/12/1424 03:00	0.00	0.00	0.00
15/12/1424 04:00	0.00	0.00	0.00
15/12/1424 05:00	0.00	0.00	0.00

15/12/1424 06:00	0.00	0.00	0.00
15/12/1424 07:00	0.00	0.00	0.00
15/12/1424 08:00	7.69	5.96	6.82
15/12/1424 09:00	15.37	14.89	15.13
15/12/1424 10:00	27.66	23.82	25.74
15/12/1424 11:00	35.33	29.77	32.55
15/12/1424 12:00	39.94	35.71	37.83
15/12/1424 13:00	43.01	35.71	39.36
15/12/1424 14:00	36.86	29.76	33.31
15/12/1424 15:00	30.72	23.81	27.27
15/12/1424 16:00	18.43	17.86	18.15
15/12/1424 17:00	9.22	8.93	9.08
15/12/1424 18:00	1.54	2.98	2.26
15/12/1424 19:00	0.00	0.00	0.00
15/12/1424 20:00	0.00	0.00	0.00
15/12/1424 21:00	0.00	0.00	0.00
15/12/1424 22:00	0.00	0.00	0.00
15/12/1424 23:00	0.00	0.00	0.00
16/12/1424 01:00	0.00	0.00	0.00
16/12/1424 02:00	0.00	0.00	0.00
16/12/1424 03:00	0.00	0.00	0.00
16/12/1424 04:00	0.00	0.00	0.00
16/12/1424 05:00	0.00	0.00	0.00
16/12/1424 06:00	0.00	0.00	0.00
16/12/1424 07:00	1.54	1.49	1.51
16/12/1424 08:00	7.68	5.95	6.82
16/12/1424 09:00	17.67	17.86	17.77
16/12/1424 10:00	30.72	23.81	27.27
16/12/1424 11:00	36.86	29.76	33.31
16/12/1424 12:00	43.01	35.71	39.36
16/12/1424 13:00	43.00	35.71	39.36

16/12/1424 14:00	36.85	29.75	33.30
16/12/1424 15:00	30.71	23.80	27.26
16/12/1424 16:00	18.43	17.85	18.14
16/12/1424 17:00	9.21	8.93	9.07
16/12/1424 18:00	1.54	0.00	0.77
16/12/1424 19:00	0.00	0.00	0.00
16/12/1424 20:00	0.00	0.00	0.00
16/12/1424 21:00	0.00	0.00	0.00
16/12/1424 22:00	0.00	0.00	0.00
16/12/1424 23:00	0.00	0.00	0.00
17/12/1424 01:00	0.00	0.00	0.00
17/12/1424 02:00	0.00	0.00	0.00
17/12/1424 03:00	0.00	0.00	0.00
17/12/1424 04:00	0.00	0.00	0.00
17/12/1424 05:00	0.00	0.00	0.00
17/12/1424 06:00	0.00	0.00	0.00
17/12/1424 07:00	1.54	2.98	2.26
17/12/1424 08:00	7.68	8.93	8.31
17/12/1424 09:00	15.36	14.88	15.12
17/12/1424 10:00	27.65	23.81	25.73
17/12/1424 11:00	33.78	29.75	31.77
17/12/1424 12:00	39.92	32.73	36.33
17/12/1424 13:00	39.92	32.73	36.33
17/12/1424 14:00	21.50	20.83	21.17
17/12/1424 15:00	26.10	20.83	23.47
17/12/1424 16:00	15.35	17.85	16.60
17/12/1424 17:00	7.68	5.95	6.82
17/12/1424 18:00	1.54	0.00	0.77
17/12/1424 19:00	0.00	0.00	0.00
17/12/1424 20:00	0.00	0.00	0.00
17/12/1424 21:00	0.00	0.00	0.00

17/12/1424 22:00	0.00	0.00	0.00
17/12/1424 23:00	0.00	0.00	0.00
18/12/1424 01:00	0.00	0.00	0.00
18/12/1424 02:00	0.00	0.00	0.00
18/12/1424 03:00	0.00	0.00	0.00
18/12/1424 04:00	0.00	0.00	0.00
18/12/1424 05:00	0.00	0.00	0.00
18/12/1424 06:00	0.00	0.00	0.00
18/12/1424 07:00	0.77	0.00	0.38
18/12/1424 08:00	6.15	4.47	5.31
18/12/1424 09:00	12.29	14.88	13.59
18/12/1424 10:00	21.50	20.83	21.17
18/12/1424 11:00	30.71	23.80	27.26
18/12/1424 12:00	33.78	29.75	31.77
18/12/1424 13:00	33.78	26.78	30.28
18/12/1424 14:00	32.25	26.78	29.52
18/12/1424 15:00	24.57	20.83	22.70
18/12/1424 16:00	10.75	8.93	9.84
18/12/1424 17:00	7.68	5.95	6.82
18/12/1424 18:00	1.54	1.49	1.51
18/12/1424 19:00	0.00	0.00	0.00
18/12/1424 20:00	0.00	0.00	0.00
18/12/1424 21:00	0.00	0.00	0.00
18/12/1424 22:00	0.00	0.00	0.00
18/12/1424 23:00	0.00	0.00	0.00